

ЛЕСНОЙ ВЕСТНИК / FORESTRY BULLETIN

Научно-информационный журнал

№ 5 ' 2025 Том 29

Главный редактор

Санаев Виктор Георгиевич, д-р техн. наук, профессор,
Мытищинский филиал (МФ) МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

Редакционный совет

Артамонов Дмитрий Владимирович, д-р техн. наук, профессор,
Пензенский ГУ, Пенза

Ашраф Дарвиш, ассоциированный профессор, факультет
компьютерных наук, Университет Хелуан, Каир, Египет,
Исследовательские лаборатории Machine Intelligence
(MIR Labs), США

Беляев Михаил Юрьевич, д-р техн. наук, начальник отдела,
зам. руководителя НТЦ РКК «Энергия» им. С.П. Королёва, Москва
Бемманн Альбрехт, профессор, Дрезденский технический
университет, Институт профессуры для стран Восточной Европы,
Германия

Бессчетнов Владимир Петрович, д-р биол. наук, профессор,
Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия,
Нижний Новгород

Бугаёв Александр Степанович, академик РАН, д-р физ.-мат. наук,
Московский физико-технический институт (национальный
исследовательский университет), Москва

Бурмистрова Ольга Николаевна, д-р техн. наук, профессор,
Ухтинский государственный технический университет

Говедар Зоран, член-корреспондент Академии наук и искусств
Республики Сербской (АНИРС), профессор, доктор с.-х. наук,
Университет г. Баня Лука, Республика Сербская, Босния и Герцеговина

Делгиз Ксавье, д-р с.-х. наук, профессор, Академик IAWS, академик
Французской академии сельского хозяйства, Нанси, Франция

Драпалюк Михаил Валентинович, д-р техн. наук, профессор,
ректор ВГЛУ им. Г.Ф. Морозова, Воронеж

Евдокимов Юрий Михайлович, канд. хим. наук, профессор, академик
Нью-Йоркской академии наук, чл.-корр. РАЕН, член центрального
правления Нанотехнологического общества России, Москва

Залесов Сергей Вениаминович, д-р с.-х. наук, профессор, УГЛУ,
Екатеринбург

Запруднов Вячеслав Ильич, д-р техн. наук, профессор,
МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

Иванкин Андрей Николаевич, д-р хим. наук, профессор,
академик МАНВШ, МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

Кирюхин Дмитрий Павлович, д-р хим. наук, ИПХФ РАН,
Черноголовка

Классен Николай Владимирович, канд. физ.-мат. наук,
ИФТТ РАН, Черноголовка

Ковачев Атанас, д-р архитектуры, профессор, член-корр.
Болгарской АН, профессор Международной Академии
Архитектуры, Иностранный член Российской академии

архитектуры и строительных наук (РААСН), Почетный профессор
Московского архитектурного института (Государственной
академии), Варненский свободный университет им. «Черноризца
Храбра», Варна, Болгария.

Кожухов Николай Иванович, д-р экон. наук, профессор, академик
РАН, МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

Комаров Евгений Геннадиевич, д-р техн. наук, профессор,
МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

Кох Нильс Элерс, д-р агрономии в области лесной политики,
профессор, Президент IUFRO, Центр лесного и ландшафтного
планирования университета, Копенгаген, Дания

Кротт Макс, профессор, специализация «Лесная политика»,
Георг-Аугуст-Университет, Геттинген, Германия

Лу Хайбао, д-р, профессор, заместитель директора Национальной
ключевой лаборатории науки и технологий по передовым композитам
в особых условиях, Харбинский политехнический университет, Китай

Лукина Наталья Васильевна, член-корреспондент РАН,
профессор, директор ЦЭПЛ РАН, зам. Председателя Научного
совета по лесу РАН, Москва

Макуев Валентин Анатольевич, д-р техн. наук, доцент,
МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

Малашин Алексей Анатольевич, д-р физ.-мат. наук, профессор,
МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

Мартынюк Александр Александрович, академик РАН,
д-р с.-х. наук, ФБУ ВНИИЛМ, Москва

Мелехов Владимир Иванович, д-р техн. наук, профессор,
академик РАЕН, САФУ им. М.В. Ломоносова, Архангельск

Моисеев Александр Николаевич, ст. науч. сотр., Европейский
институт леса, г. Йозенсуу, Финляндия

Наквасина Елена Николаевна, д-р с.-х. наук, профессор,
Северный (Арктический) федеральный университет

им. М.В. Ломоносова, Высшая школа естественных наук
и технологий, Архангельск

Нимц Петер, д-р инж. наук, профессор физики древесины,
Швейцарская высшая техническая школа Цюриха

Павленко Александр Николаевич, член-корреспондент РАН,
д-р физ.-мат. наук, профессор, Институт теплофизики имени
С.С. Кутателадзе СО РАН, Новосибирск

Пастори Золтан, д-р техн. наук, доцент, директор Инновационного
центра Шопронского университета, Венгрия

Полещук Ольга Митрофановна, д-р техн. наук, профессор,
МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

Полуэктов Николай Павлович, д-р техн. наук, профессор,
МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

Родин Сергей Анатольевич, д-р с.-х. наук, профессор, академик
РАН, ВНИИЛМ, Москва

Теодоронский Владимир Сергеевич, д-р с.-х. наук, профессор,
академик РАЕН, МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

Тричков Нено Иванов, профессор, доктор, проректор по научной
работе Лесотехнического университета, София, Болгария

Федотов Геннадий Николаевич, д-р биол. наук,
МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва

Чубинский Анатолий Николаевич, д-р техн. наук, профессор,
СПбГЛТУ, Санкт-Петербург

Чумаченко Сергей Иванович, д-р биол. наук, профессор,
МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

Шимкович Дмитрий Григорьевич, д-р техн. наук, профессор,
ООО «Кудесник», Москва

Щепашенко Дмитрий Геннадьевич, д-р биол. наук, доцент,
старший научный сотрудник Международного института

прикладного системного анализа (IIASA), Австрия

Научно-консультативный совет

Козлов Александр Ильич, канд. техн. наук, ученый секретарь
Совета ОАО «НПО ИТ», Королёв

Корольков Анатолий Владимирович, д-р физ.-мат. наук,
профессор, МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

Липаткин Владимир Александрович, канд. биол. наук,
профессор, МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

Обливин Александр Николаевич, д-р техн. наук, профессор,
академик РАЕН, МАНВШ, заслуженный деятель науки

и техники РФ, МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

Рыкунин Станислав Николаевич, д-р техн. наук, профессор,
МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

Стрекалов Александр Федорович, канд. техн. наук,
АО «Корпорация Тактическое военное вооружение», Королёв

Титов Анатолий Матвеевич, канд. техн. наук, зам. начальника
отделения, ученый секретарь Совета ЦУП ЦНИИМАШ, Королёв

Щекалев Роман Викторович, д-р с.-х. наук, СПбГЛТУ, Санкт-Петербург

Ответственный секретарь Расева Елена Александровна

Редактор Л.В. Сивай

Перевод М.А. Карпухиной

Электронная версия Ю.А. Рязской

Учредитель МГТУ им. Н.Э. Баумана

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-68118 от 21.12.2016

Входит в перечень утвержденных ВАК РФ изданий для публикации трудов
соискателей ученых степеней

Материалы настоящего журнала могут быть перепечатаны и воспроизведе-
ны полностью или частично с письменного разрешения издательства
Выходит с 1997 года

Адрес редакции
141005, Мытищи-5, Московская обл.,
1-я Институтская, д. 1
(498) 687-41-33,
les-vest@bmstu.ru

Дата выхода в свет 25.09.2025

Тираж 600 экз.

Заказ №

Объем 20,5 п. л.

Цена свободная

LESNOY VESTNIK / FORESTRY BULLETIN

Scientific Information journal

No. 5 ' 2025 Vol. 29

Editor-in-chief

Sanaev Victor Georgievich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow

Editorial council

Artamonov Dmitriy Vladimirovich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), Penza State
Ashraf Darwish, Associate Professor of Computer Science, Faculty of Computer Science, Helwan University, Cairo, Egypt, Machine Intelligence Research Labs (MIR Labs), USA
Belyaev Mikhail Yur'evich, Dr. Sci. (Tech.), Head of Department, Deputy Director of S.P. Korolev RSC «Energia», Moscow
Bemman Al'brekht, Professor, the Dresden technical university, professorate Institute for countries of Eastern Europe, Germany
Besschetnov Vladimir Petrovich, Professor, Dr. Sci. (Biol.), Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, Nizhny Novgorod
Bugaev Aleksandr Stepanovich, Academician of the RAS, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Moscow Institute of Physics and Technology, Moscow
Burmistrova Olga Nikolaevna, Professor, Dr. Sci. (Tech.), Ukhta State Technical University, Ukhta
Chubinskiy Anatoliy Nikolaevich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), Saint Petersburg State Forest Technical University, St. Petersburg
Chumachenko Sergey Ivanovich, Professor, Dr. Sci. (Biol.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
Deglise Xavier, Dr. Sci. (Agric.), Academician of the IAWS, Academician of the French Academy of Agriculture, Nancy, France
Drapalyuk Mikhail Valentinovich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), Rector of VSUFT, Voronezh
Evdokimov Yuriy Mikhaylovich, Professor, Ph. D. (Chemical); academician of the New York Academy of Sciences, corr. Academy of Natural Sciences, a member of the Central Board of Nanotechnology Society of Russia, Moscow
Fedotov Gennadiy Nikolaevich, Dr. Sci. (Biol.), Lomonosov Moscow State University, Moscow
Govedar Zoran, Corresponding member of the Academy of Sciences and Arts of the Republika Srpska (ASARS), Professor, Doctor of Forestry. University of Banja Luka, Republic Srpska, Bosnia and Herzegovina
Ivankin Andrey Nikolaevich, Professor, Dr. Sci. (Chemical), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
Kiryukhin Dmitriy Pavlovich, Dr. Sci. (Chemical), IPCP RAS, Chernogolovka
Klassen Nikolay Vladimirovich, Ph. D. (Phys.-Math.), ISSP RAS, Chernogolovka
Kovachev Atanas, Corresponding Member of the Bulgarian Academy of Sciences, Dr. Sci., Foreign member of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (RAACN), Honorary Professor of the Moscow Architectural Institute (State Academy), Varna, Bulgaria
Kokh Nil's Elers, Professor, the Dr. of agronomics in the field of forest policy, the President of IUFRO, the Center of forest and landscape planning of university Copenhagen, Denmark
Komarov Evgeniy Gennadievich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
Kozhukhov Nikolay Ivanovich, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Econ.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
Krott Maks, Professor of Forest polityc specialization, George-August-Universitet, Goettingen
Lu Haibao, Dr., Tenure-track Professor, Vice Director of the National Key Laboratory of Science and Technology on Advanced Composites in Special Environments, Harbin Institute of Technology (HIT), China
Lukina Natalya Vasilyevna, Corresponding Member of the RAS, Professor, Director of the Center for Sub-Settlement Research RAS, Deputy Chairperson of the Forest Research Council

Makuev Valentin Anatol'evich, Dr. Sci. (Tech.), Associate Professor, BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
Malashin Alexey Anatolyevich, Professor, Dr. Sci. (Physics and Mathematics), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
Martynyuk Aleksandr Aleksandrovich, Academician of the RAS, Dr. Sci. (Agric.), VNIILM, Moscow
Melekhov Vladimir Ivanovich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), Academician of the Russian Academy of Natural Sciences, NARFU, Arkhangelsk
Moiseyev Aleksandr Nikolaevich, Senior Researcher, European Forest Institute, Joensuu, Finland
Nakvasina Elena Nikolaevna, Professor, Dr. Sci. (Agric.), Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Higher School of Natural Sciences and Technology, Arkhangelsk
Niemz Peter, Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h.c., Prof. for Wood Physics, ETH Zurich (Swiss Federal Institute of Technology in Zurich; Eidgenossische Technische Hochschule Zurich)
Pasztoy Zoltan, Dr., Ph.D., Director of Innovation Center, University of Sopron, Sopron, Hungary
Pavlenko Aleksandr Nikolaevich, Corresponding Member of the RAS, Professor, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Kutateladze Institute of Thermophysics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk
Poleshchuk Ol'ga Mitrofanovna, Professor, Dr. Sci. (Tech.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
Poluektov Nikolai Pavlovich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
Rodin Sergey Anatol'evich, Professor, the Dr. Sci. (Agric.), ARRISMF, Moscow
Shchepashchenko Dmitry Gennadievich, Associate Professor, Dr. Sci. (Biol.), Senior Researcher, International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Austria
Shimkovich Dmitriy Grigor'evich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), OOO «Kudesnik», Moscow
Teodoronskiy Vladimir Sergeevich, Professor, Dr. Sci. (Agric.), academician of the Russian Academy of Natural Sciences, BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
Trichkov Neno Ivanov, professor, Dr., Vice-Rector for Research, Forestry University, Sofia, Bulgaria
Zalesov Sergey Veniaminovich, Professor, Dr. Sci. (Agric.), USFEU, Ekaterinburg
Zaprudnov Vyacheslav Il'ich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow

Scientific advisory council

Kozlov Aleksandr Il'ich, Ph. D. (Tech.), Scientific Secretary of the Board of «NPO IT», Korolev
Korol'kov Anatoliy Vladimirovich, Professor, Dr. Sci. (Phys.-Math.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
Lipatkin Vladimir Aleksandrovich, Professor, Ph. D. (Biol.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
Oblivin Aleksandr Nikolaevich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), Academician of the Russian Academy of Natural Sciences and MANVSh, Honored worker of science and equipment of the Russian Federation, BMSTU, Moscow
Rykunin Stanislav Nikolaevich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
Strekalov Aleksandr Fedorovich, Ph. D. (Tech.), JSC «Tactical Missiles Corporation», Korolev
Shchekalev Roman Viktorovich, Dr. Sci. (Agric.), Saint Petersburg State Forest Technical University, St. Petersburg
Titov Anatoliy Matveevich, Ph. D. (Tech.), Deputy Chief of Department, Scientific Secretary of the Board of MCC TSNIIIMASH, Korolev

Assistant Editor Raseva Elena Aleksandrovna

Editor L.V. Sivay

Translation by M.A. Karpukhina

Electronic version by Yu.A. Ryazhskaya

Founder BMSTU

The journal is registered by the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology, and Mass Media

Certificate on registration ПИ № ФС 77-68118 of 21.12.2016

The journal is included in the list of approved VAK of the Russian Federation for editions for the publication of works of competitors of scientific degrees

Materials of the present magazine can be reprinted and reproduced fully or partly with the written permission of publishing house

It has been published since 1997

Publishing house
141005, Mytishchi, Moscow Region, Russia
1st Institutskaya street, 1
(498) 687-41-33
les-vest@bmstu.ru

It is sent for the press 25.09.2025
Circulation 600 copies
Order №
Volume 20,5 p. p.
Price free

СОДЕРЖАНИЕ

ЛЕСОВЕДЕНИЕ, ЛЕСОВОДСТВО И ТАКСАЦИЯ ЛЕСА

Тюкавина О.Н., Сурина Е.А., Феклисов П.А., Клевцов Д.Н., Болотов И.Н. Возобновительный потенциал лесов приарктической зоны Европейского Севера	5
Мирсияпов Н.И., Глушко С.Г., Сингатуллин И.К., Иванов Б.Л. Пирогенная динамика лесов в условиях Республики Татарстан	22
Тихонова Е.Н., Одноралов Г.А., Трещевская Э.И., Харченко Н.Н., Голядкина И.В. Предикторы биологической продуктивности водораздельно-зандровых типов местности Воронежской нагорной дубравы	35

ЛЕСНЫЕ КУЛЬТУРЫ, СЕЛЕКЦИЯ И ГЕНЕТИКА

Бородинцева Л.И., Тараканов В.В., Федорков А.Л., Брайт-Гончарова Т.В. Дифференциация культур сосны скрученной <i>Pinus contorta</i> var. <i>latifolia</i> различного происхождения в условиях Приобских боров Алтайского края	48
Брынцев В.А. Эндогенная и индивидуальная изменчивость морфометрических показателей шишек сосны обыкновенной (<i>Pinus sylvestris</i> L.)	62
Крекова Я.А., Залесов С.В. Перспективные интродуценты для расширения видового разнообразия березняков в Северном Казахстане	75
Кузьмин С.Р., Кузьмина Н.А. Оценка структуры годичного кольца у сосны обыкновенной (<i>Pinus sylvestris</i> L.) в зависимости от относительной влажности воздуха	86
Мельник П.Г. Рост, продуктивность и сохранность экотипов ели в условиях Клинско-Дмитровской гряды	98
Сунгурова Н.Р., Страздаускене С.Р., Бабич Н.А. Лиственница (<i>Larix</i> Mill.) в городских насаждениях Архангельска	110

ЭКОЛОГИЯ И ЗАЩИТА ЛЕСА

Бухарина И.Л., Ларионов М.В., Пашкова А.С., Ведерников К.Е., Белеля А.С. Анализ показателей фотосинтетической продуктивности у деревьев ели и пихты, полученных методом пульс-амплитудной флуориметрии	120
Дебков Н.М. Влияние изменения климата на состояние и радиальный прирост кедра сибирского (<i>Pinus sibirica</i> Du Tour) в кедровниках Северо-Восточного Алтая	136
Рунова Е.М., Гарус И.А. Состояние тополя бальзамического (<i>Populus balsamifera</i> L.) и тополя белого (<i>Populus alba</i> L.) в урбозкосистемах Иркутской области	149

CONTENTS

SYLVICULTURE, FORESTRY AND FOREST ESTIMATION

Tyukavina O.N., Surina E.A., Feklistov P.A., Klevtsov D.N., Bolotov I.N. Forests regeneration capability in sub-arctic zone of European North	5
Mirsiyapov N.I., Glushko S.G., Singatullin I.K., Ivanov B.L. Pyrogenic dynamics of forests in Tatarstan Republic	22
Tikhonova Ye.N., Odnoralov G.A., Treshchevskaya E.I., Kharchenko N.N., Golyadkina I.V. Biological productivity predictors of watershed and outwash plain terrains in Voronezh uphill oakery	35

FOREST CROPS, BREEDING AND GENETICS

Borodintseva L.I., Tarakanov V.V., Fedorkov A.L., Bright-Goncharova T.V. Shore pine (<i>Pinus contorta</i> var. <i>latifolia</i>) crops of different origin in ob pine forests of Altai region	48
Bryntsev V.A. Endogenous and individual variability of Scots pine (<i>Pinus sylvestris</i> L.) cones' morphometric parameters	62
Krekova Y.A., Zalesov S.V. Advanced introduced species to expanding species diversity of birch forests in Northern Kazakhstan	75
Kuz'min S.R., Kuz'mina N.A. Assessment of Scots pine annual tree ring structure response to air relative humidity	86
Mel'nik P.G. Growth, productivity and preservation of spruce ecotypes in Klinsk-Dmitrov low ridge	98
Sungurova N.R., Strazdauskene S.R., Babich N.A. Larix (<i>Larix</i> Mill.) in Arkhangelsk urban plantations	110

ECOLOGY AND FOREST PROTECTION

Bukharina I.L., Larionov M.V., Pashkova A.S., Vedernikov K.E., Beleya A.S. Photosynthetic activity analysis for Picea and Abies of different sanitary conditions	120
Debkov N.M. Climate change impact on Siberian cedar (<i>Pinus sibirica</i> Du Tour) condition and radial growth in North-Eastern Altai	136
Runova E.M., Garus I.A. Runova E.M., Garus I.A. Balsamic poplar (<i>Populus balsamifera</i> L.) and white poplar (<i>Populus alba</i> L.) conditions in Irkutsk region's urban ecosystems	149

ВОЗОБНОВИТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ЛЕСОВ ПРИАРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА

О.Н. Тюкавина^{1, 2✉}, Е.А. Сурина², П.А. Феклистов^{1, 3},
Д.Н. Клевцов¹, И.Н. Болотов³

¹ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (САФУ), 163002, г. Архангельск, ул. Набережная Северной Двины, д. 17

²ФБУ «Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства» (СевНИИЛХ), Россия, 163062, г. Архангельск, ул. Никитова, д. 13

³ФГБУН Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук (ФИЦКИА), Россия, 163000, г. Архангельск, пр. Никольский, д. 20

o.tukavina@narfu.ru

Приведены результаты исследования естественного лесовозобновления хвойных на сухопутной территории Арктической зоны Европейского Севера. Установлено, что в разных лесорастительных условиях возобновительный потенциал хвойных пород различен. Наибольшее количество подроста сосны отмечается в сосняке кустарничково-сфагновом ($4,0 \pm 0,6$ тыс. шт./га). Возобновление сосной успешно также в сосняке лишайниковом, черничном. Наибольшее количество подроста ели встречается в ельнике черничном (3,4 тыс. шт./га). Возобновление елью успешно также в сосняке папоротниково-кисличном, ельнике осоково-сфагновом. Отмечается тенденция увеличения численности подроста ели в перестойных ельниках черничных (возраст около 200 лет) с запада на восток. Выявлено, что в сосняках кустарничково-сфагновых количество подроста хвойных пород с увеличением возраста древостоя возрастает. Максимальное количество подроста хвойных пород в сосняке черничном наблюдается в древостое 4 класса возраста. Показано, что на успешность воспроизводства хвойного подроста под пологом сосняка черничного оказывает влияние возраст, высота, относительная полнота древостоя, присутствие подроста лиственных пород. Максимальное количество подроста хвойных отмечается в ельнике черничном 5 класса возраста. На успешность воспроизводства хвойного подроста под пологом ельника черничного оказывает влияние возраст, высота, относительная полнота древостоя, присутствие подроста осины. Выявлена зависимость высоты подроста от его возраста, которую можно описать линейным уравнением. Аллометрические закономерности формирования подроста ели в сосняке черничном и ельнике черничном схожи. Рекомендуется полученные данные применять в качестве информационной базы для совершенствования способов и технологий рационального ведения лесного хозяйства.

Ключевые слова: успешность лесовозобновления, сосна, ель, тип леса, высота подроста, возраст подроста, таксационная характеристика древостоя

Ссылка для цитирования: Тюкавина О.Н., Сурина Е.А., Феклистов П.А., Клевцов Д.Н., Болотов И.Н. Возобновительный потенциал лесов приарктической зоны Европейского Севера // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2025. Т. 29. № 5. С. 5–21. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-5-5-21

В настоящее время усилилось внимание ученых к процессам развития лесных насаждений в северных районах в связи с их промышленным освоением, а также по причине их массового усыхания [1], снижения устойчивости под влиянием изменения климата [2, 3]. Снижение толерантности естественно развивающихся лесных насаждений к возмущающимся факторам может отразиться на структурном строении насаждений. По мнению авторов работы [4], улучшение структуры таежных лесов обуславливает их лесовозобновление

хозяйственно ценными породами. При эксплуатации северных лесов часто распространены смены сосны елью и березой, ели — березой и осиной [5]. Смена породного состава характерна для 45...80 % площади лесов Европейского Севера [6]. Площади высокопродуктивных сосняков и ельников постоянно сокращаются по причине их неконкурентоспособности на фоне лиственных пород последующих генераций. Упущение потенциальных возможностей выращивания продуктивных хвойных фитоценозов противоречит принципам неистощительного лесопользования. Согласно одной из концепций лесовыращивания в таежной зоне, формирование мягколиственных насаждений на месте

хвойных древостоев расценивается как негативный процесс [7].

Эффективное управление северными лесами предусматривает воспроизводство хозяйственно ценных древесных пород с наименьшими затратами. Естественное возобновление является залогом формирования лесных фитоценозов, устойчивых к болезням и вредителям [8]. Успешность лесовозобновления определяет возможность реализации, вид, технологию и лесоводственную эффективность лесохозяйственных мероприятий. При эффективном управлении северными лесами не должно быть стереотипных технологий рубок и стандартных проектов лесовосстановления [6], только эмпирическая оценка успешности лесовосстановления на стадии планирования лесохозяйственных мероприятий позволит достичь желаемого результата. Возобновление леса будет успешным при условии учета природных закономерностей и региональных особенностей в процессе проведения лесохозяйственных мероприятий [9].

Достаточно хорошо изучен лесовозобновительный процесс для таежной зоны, прежде всего южной и средней тайги. В 2000–2020 гг. лесовозобновление хвойных в таежной зоне изучали многие специалисты [8–18]. Согласно мнению, изложенному в работе [19], естественное возобновление ели в различных лесорастительных условиях протекает по-разному. С ухудшением лесорастительных условий снижается средняя высота елового подроста [16]. Наибольшее количество подроста ели в условиях южной тайги наблюдается в сосняках черничных и ельниках черничных по сравнению с брусничным, кисличным и травяно-болотным типами леса [16]. По данным работы [20], в условиях средней тайги наибольшее количество подроста встречается в сосняках лишайниковых (0,5...21,5 тыс. экз./га), далее по мере снижения — в сосняках брусничных (1,2...4,2 тыс. экз./га), сосняках сфагновых (1,7...4,1 тыс. экз./га) и сосняках черничных (0,0...1,9 тыс. экз./га). На количество подроста под пологом древостоя оказывает влияние строение полога, возраст древостоя, его полнота, для сосняков лишайниковых — давность беспожарного периода [8, 20]. Актуальными остаются вопросы лесовозобновления и лесовосстановления за рубежом [21–25].

Недостаточно изучен лесовозобновительный процесс в условиях Севера. Указом Президента Российской Федерации от 02.06.2014 г. № 296 «О сухопутных территориях Арктической зоны Российской Федерации» установлена необходимость обеспечения национальных интересов Российской Федерации в Арктике, в том числе в

пределах северотаежных и притундровых лесов, которые активно вовлекаются в промышленное освоение [26]. Особенностью данной зоны являются суровые климатические условия, снижение скорости обменных процессов в экосистемах и восстановительного потенциала среды.

Цель работы

Цель работы — оценка естественного лесовозобновления хвойных на сухопутной территории Арктической зоны Европейского Севера.

Материалы и методы

Исследования проводились в Архангельском, Онежском, Северодвинском, Соловецком лесничествах Архангельской области, Печорском лесничестве Республики Коми, Кандалашском лесничестве Мурманской области. Объекты исследования — сосняки лишайниковые, сосняки брусничные, сосняки черничные, сосняки черничные влажные, сосняки кустарничково-сфагновые, сосняки папоротниково-кисличные, ельники черничные, ельники осоко-сфагновые. Насаждения характеризуются разными полнотой, возрастом и составом (табл. 1).

Для сбора полевого материала были заложены временные пробные площади в соответствии с ОСТ 56-69-83 и учетом методики [27], методических указаний [28]. Возраст древостоя определяли путем подсчета годичных колец по кернам, взятым на высоте 1,3 м от поверхности земли и у шейки корня. Замеры высоты деревьев проводили с помощью высотомера ВУЛ-1. Подрост лесобразующих древесных пород изучали в пределах пробной площади на пяти учетных площадках размером 2×10 м. Подрост подразделяли по категориям крупности: мелкий — высотой до 0,5 м; средний — 0,5...1,5 м; крупный — высотой более 1,5 м. Для определения количества подроста применяли коэффициенты пересчета мелкого и среднего подроста в крупный согласно [29]. Категорию состояния оценивали по шкале И.С. Мелехова [30]:

- благонадежный безукоризненный;
- благонадежный дефектный;
- сомнительный;
- ненадежный;
- сухой.

У 30 экземпляров подроста каждой категории крупности определяли рулеткой высоту от уровня корневой шейки до вершины; диаметр стволика — с помощью штангенциркуля на уровне корневой шейки.

Возраст подроста определяли путем подсчета годичных колец на спиле у шейки корня.

Т а б л и ц а 1

Таксационная характеристика насаждений

Taxation characteristics of plantations

Состав древостоя	Средние значения		Класс возраста	Класс бонитета	Относи- тельная полнота
	высота, м	диаметр, см			
Сосняки лишайниковые					
10С	11,2	10,3	IV	V	0,9
10С	7,3	6,0	III	V	1,0
10С	10,4	24,7	X	Va	0,7
10СедЕ	7,0	14,5	V	Va	0,7
Сосняки брусничные					
10С	14,7	16,7	IV	IV	0,8
10С	16,2	17,4	IV	IV	0,8
9С1Е+Б	15,8	16,5	IV	IV	0,8
10С	16,6	17,8	IV	IV	0,7
10С	15,4	16,2	IV	IV	0,8
9С1Б+Ос	14,8	16,0	IV	IV	0,8
9С1Б	16,2	17,1	IV	IV	0,8
9С1Б	16,7	16,9	IV	IV	0,8
9С1Б	17,0	16,6	IV	IV	0,8
10С+Б	16,3	17,5	IV	IV	0,8
9С2ЕедБ	8,9	14,3	IV	V	0,8
Сосняки черничные					
10СедБ	11,0	6,0	II	IV	0,7
10СедБ	8,0	6,0	II	V	0,6
10СедБ	6,8	5,4	II	V	0,6
9С1Б	8,8	7,7	III	V	0,7
9С1Б	8,3	7,5	II	V	0,6
9С1Б	7,2	6,8	II	V	0,6
10СедБ	7,1	6,2	II	V	0,6
10СедБ	6,3	5,2	II	V	0,6
9С1Б	8,6	6,7	II	V	0,6
9С1Б	11,6	13,9	III	III	0,7
9С1Бед.Е	10,0	14,2	III	III	0,8
9С1Б	10,4	16,4	IV	V	0,7
10Сед.Б	5,6	10,4	III	V	0,8
10С	11,7	17,5	IV	V	0,7
9С1Б	18,8	16,7	IV	III	0,5
9С1Бед.Е	19,1	19,8	IV	III	0,6
9С1Б	20,4	20,1	IV	III	0,5
10Сед.Б	16,8	20,6	IV	III	0,6
9С1Б	16,4	18,9	IV	III	0,6
10С	18,5	15,3	IV	III	0,5
4С3ЕЗБ	8,1	11,8	III	V	0,6
10С	16,3	22,2	VII	V	0,8
6С2Е2Б	5,0	7,8	III	V	0,4
10С	20,9	27,9	VII	IV	0,7
5С4Е1Б	8,2	9,1	III	V	0,6
8С2Б	19,1	17,5	IV	IV	0,7
6С3Е1Б	6,3	6,8	III	IV	0,5
9С1Е+Ос	20,6	24,0	VII	IV	0,6

Продолжение табл. 1

Состав древостоя	Средние значения		Класс возраста	Класс бонитета	Относи- тельная полнота
	высота, м	диаметр, см			
Сосняки черничные					
5С3Е2Б	23,0	25,7	VI	III	0,7
10С+Б	18,5	20,3	VII	IV	0,9
5С4Е1Б	22,0	23,2	VI	III	0,8
10С+Б	19	20,4	VII	IV	0,7
5С3Е2Б	21,9	24,8	VI	III	0,8
10С	20,8	25,7	VII	IV	0,6
4С3Е3Б	21,0	23,0	VI	III	0,8
4С3Е2Б1Ос	19,0	20,5	VI	III	0,6
4С3Е2Б1Ос	20,0	21,0	VI	III	0,7
9С1Е	24,0	29,0	VII	III	0,9
4С4Е1Б1Ос	22,0	26,3	VI	III	0,9
10С+Б+Ос	16,0	18,9	IV	V	0,8
7С2Б1Ос	17,1	18,2	IV	IV	0,7
9С1Е	17,1	17,5	IV	IV	0,6
10С	11,5	26,7	XI	V	0,7
7С2Еед.Б	9,8	25,4	VIII	IV	0,5
Сосняки черничные влажные					
10С	8,3	10,6	IV	V	0,5
10С	10,8	11,5	IV	Va	0,8
10С	11,2	13,5	IV	Va	0,6
10С	8,4	9,1	IV	Va	0,9
10С	5,8	6,5	III	V	0,5
10Сед.Е	8,9	16,3	V II	Va	0,6
Сосняки кустарничково-сфагновые					
10СедБ	5	5,1	II	Va	0,6
9С1Б	5,4	4,7	III	Va	0,6
10СедБ	5,0	5,1	II	Va	0,6
10СедБ	5,1	4,7	II	Va	0,7
9С1Б	4,4	4,4	II	Va	0,7
10С+Б	6,9	6,4	III	V	0,4
10С+Б	5,4	5,6	III	V	1,1
10С+Б	6,1	5,5	III	V	0,7
10С+Б	11,8	8,9	VI	Va	0,7
10Сед.Б	17,6	12,6	VII	Va	0,5
10С+Б	6,0	4,9	II	V	0,6
10С+Б	9,9	7,3	VI	Va	0,7
10Сед.Б	11,3	8,6	VII	Va	0,8
10С+Б	6,3	6,9	III	V	0,8
10С+Б	6,2	6,4	III	V	1,0
10С+Б	7,6	7,4	III	V	0,9
10С+Б	5,4	5,1	III	V	0,6
10С+Б	9,3	10,2	IV	V	0,5
7С3Б	10,3	10,5	IV	V	0,8
10С	9,5	9,8	IV	V	0,6
10С	10,0	9,9	IV	V	0,5
10С+Б	9,4	9,6	IV	V	0,6
10С+Б	6,2	6,8	III	V	1,4
10С	3,0	4,1	III	Va	0,5

Продолжение табл. 1

Состав древостоя	Средние значения		Класс возраста	Класс бонитета	Относи- тельная полнота
	высота, м	диаметр, см			
Сосняки кустарничково-сфагновые					
10С+Б	4,6	4,1	III	V	0,6
10С+Б	7,1	6,3	III	V	0,8
10С+Б	5,7	5,3	III	V	1,2
10С+Б	5,6	5,4	III	V	1,0
Сосняки папоротниково-кисличные					
8С2Б+Еед.Ол	16,5	16,2	III	III	0,8
9С1Е1Бед.Ол	18,5	18,3	III	III	0,8
8С2Б+Еед.Ол	17,0	16,8	III	III	0,8
8С2Б+Еед.Ол	16,8	16,4	III	III	0,9
9С1Б+Ол ед.Е	17,0	16,3	III	III	0,9
9С1Б+Еед.Ол	16,4	15,9	III	III	0,9
9С1Б+Е	16,7	16,2	III	III	0,8
Ельники осоко-сфагновые					
6Е2С2Б	14,3	14,4	V	V	0,7
7Е2С1Б	14,0	14,1	V	V	0,7
8Е2Б+С	16,5	17,4	VII	V	0,7
Ельники черничные					
7Е2Б1Ос	10,9	19,1	V	V	0,8
6Е3С1Б	13,5	12,8	V	V	0,8
8Е1С1Б	15,0	16,2	VI	V	0,8
6Е3С1Б	14,5	15,3	VI	V	0,6
6Е3С1Б	15,5	17,3	VII	V	1,0
8Е1С1Б	16,0	18,6	VIII	V	0,9
6Е2С2Б	13,0	15,5	VI	V	1,0
8Е1С1Б	16,5	17,4	VII	V	0,9
6Е4С+Б	14,0	15,2	VI	V	1,0
7Е2С1Б	15,5	14,8	V	V	0,8
8Е2Б	13,3	17,0	X	V	0,3
8Е2Б	16,8	19,8	XIII	V	0,4
8Е2Б	16,2	24	XII	V	0,4
9Е1Б+С	15,1	21,0	XII	V	0,4
8Е2Б	17,9	21,5	XII	V	0,5
8Е2Б	14,5	19,6	XIII	V	0,3
7Е2С1Б	14,2	19,3	XII	V	0,5
8Е2С	14,3	21,0	XIII	V	0,4
8Е2С	15,3	19,5	XII	V	0,4
9Е1С+Б	16,8	19,9	XII	V	0,4
9Е1Б	14,3	20,2	XII	V	0,4
6Е3Б1С	16,1	23,2	IV	IV	0,8
7Е3Б+С	16,8	22,0	V	IV	0,6
6Е1С3Бед.Ос	17,7	27,8	V	IV	0,4
6Е4Б	16,5	23,2	IV	IV	0,7
9Е1С	19,7	29,7	V	IV	0,5
7Е2Б1Ос	21,9	24,6	VI	III	0,8
7Е1С2Б	22,0	25,7	VI	III	0,9
8Е1С1Б	22,1	25,2	VI	III	0,7
7Е2Б1Ос	22,0	26,2	VI	III	0,7

Окончание табл. 1

Состав древостоя	Средние значения		Класс возраста	Класс бонитета	Относи- тельная полнота
	высота, м	диаметр, см			
5Е4Б1Ос	22,1	24,9	VI	III	0,7
8Е2Б	19,8	21,6	V	III	0,7
3Е3С3Б1Ос	21,8	24,7	V	III	0,9
6Е2С2Б	21,9	24,1	VI	III	0,7
7Е1С 2Б	18,8	29,8	VI	IV	0,6
9Е1Лц+Б	18,5	27,8	VII	IV	0,7
8Е2Б	16,2	20,0	IV	IV	0,8
9Е1Лц+Б	18,6	28,3	VI	IV	0,7
8Е2Лц+Б	17,7	26,0	VI	V	0,6
6Е4Б	19,2	21,0	V	IV	0,6
7Е1С 2Б+Ос	16,2	23,1	IV	IV	0,7
7Е1С 2Б	16,8	21,9	V	IV	0,5
6Е1С3Бед.Ос	17,6	27,7	V	IV	0,4
7Е1С 2Б	19,8	29,9	V	IV	0,8
9Е1С	19,6	29,7	V	IV	0,5
8Е1С1Б	18,9	29,8	VI	IV	0,6
8Е1Лц1Б	18,8	28,1	VII	IV	0,9
9Е1Лц+Б	18,0	26,2	VI	IV	0,6
9Е1Лц+Б	18,8	28,4	VI	IV	0,7
8Е2Лц+Бед.Ос	18,6	26,1	VII	IV	0,7
8Е2Лц+Б	18,1	27,9	VI	IV	0,6

При описании напочвенного покрова оценивали видовой состав, проективное покрытие, встречаемость растений.

Результаты и обсуждение

Возобновительный потенциал сосны проявляется в широком спектре лесорастительных условий [8, 31]. Исследование возобновления сосны охватывает сосняки лишайниковые, брусничные, черничные, черничные влажные, кустарничково-сфагновые (рис. 1). В данном случае обсуждаются насаждения от 60 до 120 лет. Наибольшее количество подроста сосны отмечается в сосняках кустарничково-сфагновых ($4,0 \pm 0,6$ тыс. шт./га). Количество подроста здесь превышает сосняк лишайниковый на 122 % ($t = 4,9$ при $t_{st} = 2,8$; $p = 0,99$), сосняк брусничный — на 220 % ($t = 4,4$ при $t_{st} = 2,8$; $p = 0,99$), сосняк черничный влажный — на 185 % ($t = 3,6$ при $t_{st} = 2,8$; $p = 0,99$), сосняк черничный — на 67 % ($t = 2,2$ при $t_{st} = 2,1$; $p = 0,95$).

Сосняк кустарничково-сфагновый и сосняк лишайниковый представлены чистыми сосняками с небольшой примесью березы. По данным работы [8], успешность возобновления сосны

в данных условиях обусловлена отсутствием конкурентов. Однако доля жизнеспособного подроста сосны в сосняке лишайниковом составляет от 77 до 86 %, а в сосняке кустарничково-сфагновом — 100 %. Появление под пологом сосняка лишайникового усыхающего и сухого подроста может обуславливаться длительными сухими периодами в июле в последние годы. На сухих бедных почвах после затяжного периода без дождей в жаркую погоду может наблюдаться массовый отпад самосева [32].

Подрост в сосняке лишайниковом представлен только сосной. Подрост ели в данных условиях может появляться, но со временем усыхает [8]. В сосняке кустарничково-сфагновом подрост представлен в основном сосной и в незначительных количествах березой.

В сосняке брусничном и сосняке черничном влажном в составе появляется ель — до 1 ед. Подрост представлен не только сосной, но и елью, иногда березой. Причем в сосняках брусничных подрост ели доминирует, а иногда подрост состоит исключительно из ели. В сосняке черничном отмечается определенное соотношение количества подроста сосны и подроста ели, в зависимости от доли участия в составе древостоя сосны. При 10 ед. сосны

в составе древостоя процент подроста сосны среди хвойных составляет $88,0 \pm 4,5 \%$, при 9 ед. — $64,8 \pm 8,6 \%$, при 5 ед. — $24,7 \pm 4,8 \%$, при 4 ед. — $11,7 \pm 5,0 \%$. При сокращении доли участия сосны в составе древостоя с 10 до 9 ед. доля сосны в хвойном подросте сокращается на 23,2 % ($t = 2,4$ при $t_{st} = 2,2$; $p = 0,95$). При сокращении доли участия сосны в составе древостоя на 6 ед. доля сосны в хвойном подросте сокращается на 76,3 % ($t = 11,4$ при $t_{st} = 3,4$; $p = 0,99$).

Подрост ели отмечается и под пологом сосняков, и под пологом ельников (рис. 2). Наиболее успешно возобновительный процесс ели происходит под пологом ельников.

Наибольшее количество подроста ели наблюдается в ельниках черничных (3,4 тыс. шт./га). В ельниках осоко-сфагновых количество подроста снижается по сравнению с ельниками черничными на 38 % ($t = 3,5$ при $t_{st} = 2,7$; $p = 0,99$). В сосняке черничном количество подроста ели по сравнению с ельником черничным сокращается в 3,8 раз ($t = 7,4$ при $t_{st} = 2,7$; $p = 0,99$). О неблагоприятных условиях для произрастания подроста ели под пологом сосняка черничного также указано в работе [16].

Среди сосняков наибольшее количество елового подроста наблюдается в сосняке папоротниково-кисличном (1,9 тыс. шт./га). По сравнению с ним в сосняке брусничном и сосняке черничном количество подроста снижается в 2 раза ($t = 3,0$ при $t_{st} = 2,7 \dots 2,9$; $p = 0,99$). В сосняке черничном влажном количество подроста ели снижается по сравнению с сосняком черничным свежим в 2,3 раза ($t = 2,0$ при $t_{st} = 2,0$; $p = 0,95$).

Снижение количества подроста в черничнике влажном по сравнению с черничником свежим или сосняком кустарничково-сфагновым, ельником осоко-сфагновым может быть связано с напочвенным покровом. В напочвенном покрове черничника влажного присутствует мох политрихум обыкновенный (*Polytrichum commune* Hedw.), воздействующий на подрост как механически, так и аллелопатически, аналогично луговнику извилистому (*Avenella flexuosa* (L.) Drejer.) [33, 34].

Влияние напочвенного покрова на возобновление хвойных наиболее существенное на вырубке или горельнике [25, 35, 36], в естественных насаждениях оно не столь значимо. В изученных сосняках кустарничково-сфагновых проективное покрытие напочвенного покрова травяно-кустарничкового и мохово-лишайникового ярусов достаточно стабильно. В сосняках брусничных не выявлена значимая теснота связи количества подроста хвойных пород с проективным покрытием травяно-

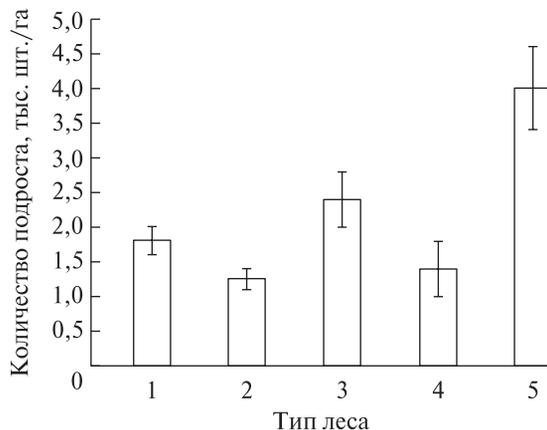


Рис. 1. Возобновительный потенциал сосны в разных типах леса: 1 — сосняк лишайниковый; 2 — сосняк брусничный; 3 — сосняк черничный; 4 — сосняк черничный влажный; 5 — сосняк кустарничково-сфагновый

Fig. 1. Regeneration capability of pine species in different forest types: 1 — lichen pine forest; 2 — lingonberry pine forest; 3 — bilberry pine forest; 4 — wet bilberry pine forest; 5 — shrub-sphagnum pine forest

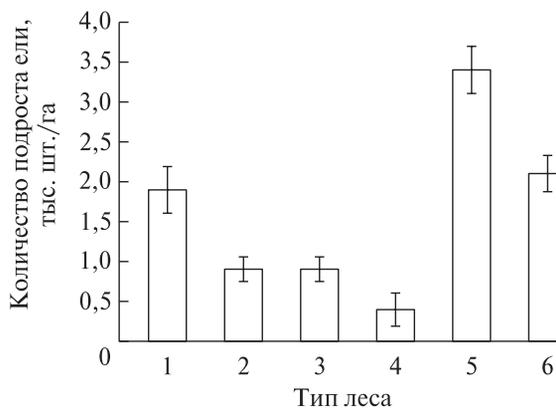


Рис. 2. Возобновление ели в разных типах леса: 1 — сосняк папоротниково-кисличный; 2 — сосняк брусничный; 3 — сосняк черничный; 4 — сосняк черничный влажный; 5 — ельник черничный; 6 — ельник осоко-сфагновый

Fig. 2. Regeneration of spruce in different forest types: 1 — fern-oxalis pine forest; 2 — lingonberry pine forest; 3 — bilberry pine forest; 4 — wet bilberry pine forest; 5 — bilberry spruce forest; 6 — sedge-sphagnum spruce forest

кустарничкового яруса ($r = -0,19$ при $t = 0,6$) и мохово-лишайникового яруса ($r = 0,37$ при $t = 1,4$). В сосняках черничных не выявлена существенная теснота связи количества подроста хвойных пород с проективным покрытием травяно-кустарничкового яруса ($r = 0,31$ при $t = 2,2$) и мохово-лишайникового яруса ($r = -0,18$ при $t = 1,2$). В ельнике черничном при отсутствии значимой



Рис. 3. Количество хвойного подроста в насаждениях разного возраста

Fig. 3. Amount of coniferous undergrowth in stands of different ages

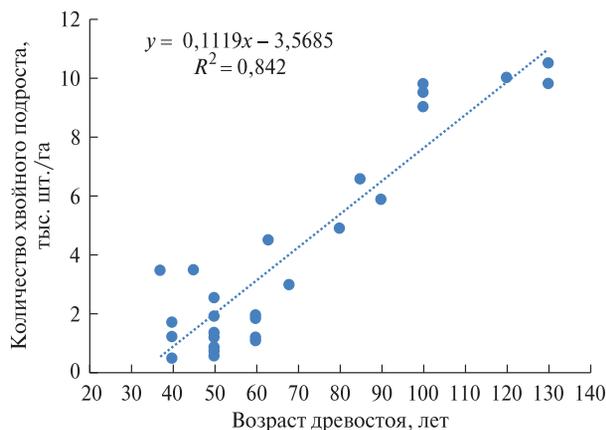


Рис. 4. Зависимость количества хвойного подроста в сосняке кустарничково-сфагновом от возраста древостоя

Fig. 4. Dependence of the amount of coniferous undergrowth in a shrub-sphagnum pine forest on the age of the stand

тесноты связи количества подроста хвойных пород с проективным покрытием мохово-лишайникового яруса ($r = 0,16$ при $t = 1,3$) отмечается обратная умеренная значимая теснота связи с проективным покрытием травяно-кустарничкового яруса ($r = -0,50$ при $t = 5,7$).

В Печорском лесничестве отмечаются сходные закономерности изменения численности подроста по типам ельников. Так, в ельниках разнотравных численность подроста ели составляет около 1 тыс. шт./га, в ельниках сфагновых — 0,3; ельниках черничных — от 2,5 до 4; ельниках кустарничково-сфагновых — от 3 до 4 тыс. шт./га.

Отмечается тенденция увеличения численности подроста ели в перестойных ельниках черничных (возраст около 200 лет) с запада на восток. Так, численность подроста ели в Кандалакшском лесничестве Мурманской области составляет в среднем $1,1 \pm 0,1$ тыс. шт./га, в Архангельском лесничестве Архангельской области — $1,9 \pm 0,4$ тыс. шт./га, в Печорском лесничестве Республики Коми — $3,1 \pm 0,6$ тыс. шт./га.

По данным работы [37], главными факторами, влияющими на жизнеспособность подроста сосны под пологом древостоев, являются возраст и сомкнутость крон древостоя. Изменение количества хвойного подроста с увеличением возраста древостоя в разных типах лесорастительных условий различно (рис. 3).

В сосняках кустарничково-сфагновых весь подрост хвойных пород представлен сосной и его количество с увеличением возраста древостоя растет. При переходе с III класса на IV класс возраста древостоя количество подроста увеличивается в 2,2 раза ($t = 7,8$ при $t_{st} = 2,8$; $p = 0,99$); с VI класса на V класс — в 1,6 раза ($t = 5,9$ при $t_{st} = 4,0$; $p = 0,99$); с V класса на VI класс — в 1,6 раза ($t = 14,4$ при $t_{st} = 4,6$; $p = 0,99$); с VI класса на VII класс — на 6% ($t = 3,8$ при $t_{st} = 2,8$; $p = 0,95$). Таким образом, отмечается очень высокая теснота связи количества подроста сосны с возрастом древостоя ($r = 0,92$ при $t = 30,7$). Кроме того, с возрастом увеличивается дренирующая роль древостоя, что сказывается на почвенном покрове. В связи с этим сокращается проективное покрытие сфагновых мхов и увеличивается доля зеленых мхов. Зависимость между данными показателями можно описать линейным уравнением: $y = 0,1119x - 3,5685$ (рис. 4).

Полнота древостоя не оказывает значимого влияния на количество подроста в сосняке кустарничково-сфагновом ($r = -0,23$ при $t = 1,2$).

В сосняке черничном выявлена обратная значимая теснота связи количества подроста сосны с полнотой древостоя ($r = -0,66$ при $t = 7,4$). Зафиксирована тенденция сокращения количества подроста сосны с возрастом древостоя ($r = -0,33$ при $t = 2,3$). Максимальное количество подроста хвойных пород наблюдается в сосняке черничном IV класса возраста (4,1 тыс. шт./га) (см. рис. 3). Превышение количества подроста хвойных пород в данном насаждении по сравнению с древостоем III класса возраста составляет 310% ($t = 5,1$ при $t_{st} = 2,8$; $p = 0,99$), с древостоем V класса возраста — 32% ($t = 1,5$ при $t_{st} = 2,1$; $p = 0,95$). При переходе с V класса возраста древостоя на VI класс количество подроста хвойных пород сокращается на 29% ($t = 2,5$ при $t_{st} = 2,4$; $p = 0,95$). Количество под-

роста хвойных пород в сосняке черничном VI и VII класса возраста значимо не различается.

С увеличением полноты древостоя средневозрастного и приспевающего древостоя (до 70 лет) отмечается сокращение количества подроста хвойных пород (рис. 5).

Если рассматривать весь подрост лесобразующих древесных пород под пологом сосняка черничного, то отмечается закономерность увеличения подроста лиственных пород в древостоях старше 70 лет, причем в этих древостоях с увеличением полноты древостоя количество подроста хвойных пород возрастает, а общее количество подроста снижается (рис. 6). При снижении полноты древостоя сосняка черничного под его пологом происходит заселение лиственных пород. Так при полноте древостоя 0,6 доля подроста лиственных пород относительно общего количества подроста составляет от 50 до 88 %, а при увеличении полноты древостоя до 0,9...16 % лиственный подрост отсутствует полностью.

В ельниках черничных полнота древостоя не оказывает значимого влияния на количество подроста ели ($r = 0,33$ при $t = 1,9$), однако отмечается умеренная обратная значимая теснота связи количества подроста ели от возраста древостоя ($r = -0,56$ при $t = 6,4$). Снижение количества подроста с увеличением возраста ельников обусловлено усложнением структуры древостоя и изменением пространственной структуры подроста. По данным работы [38], изначально куртинное расположение подроста в результате ограничения жизненного пространства и жестких конкурентных отношений с возрастом изменяется на случайный тип размещения, в том числе вследствие элиминации подроста в группах и выравнивания напряженности взаимовлияния между растениями [17, 39].

Максимальное количество подроста хвойных отмечается в ельнике черничном V класса возраста. Превышение количества подроста хвойных пород в данном насаждении по сравнению с древостоем IV класса возраста составляет 38 % ($t = 2,3$ при $t_{st} = 2,1$; $p = 0,95$). Различие в количестве подроста хвойных пород ельников черничных V и VI классов возраста, а также при сравнении ельников черничных VI и VII классов возраста незначимо. Можно отметить, что в ельниках черничных в возрасте от 100 до 140 лет происходит большой размах вариации количества подроста хвойных пород (рис. 7).

На количество подроста ели под пологом ельников черничных оказывает влияние состав подроста. При появлении подроста осины количество подроста ели резко сокращается (рис. 8), но примесь подроста березы в небольшом количестве не оказывает на него влияния.

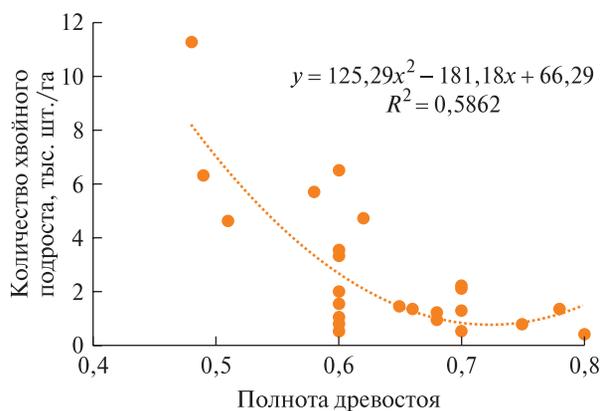


Рис. 5. Зависимость подроста хвойных пород от полноты древостоя в средневозрастных и приспевающих сосняках черничных

Fig. 5. Dependence of coniferous undergrowth on the density of the stand in middle-aged and maturing blueberry pine forests

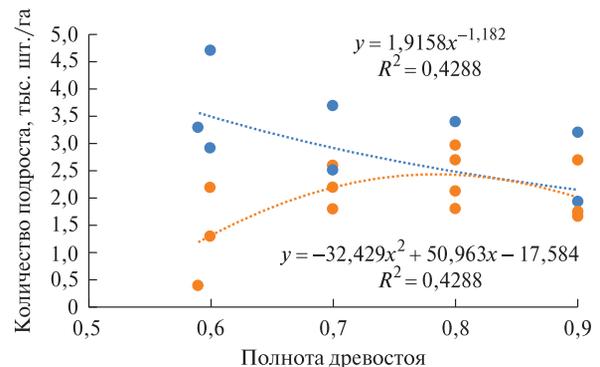


Рис. 6. Зависимость подроста лесобразующих пород от полноты древостоя сосняка черничного старше 70 лет

Fig. 6. Dependence of forest-forming species undergrowth on the stand density in a blueberry pine forest older than 70 years

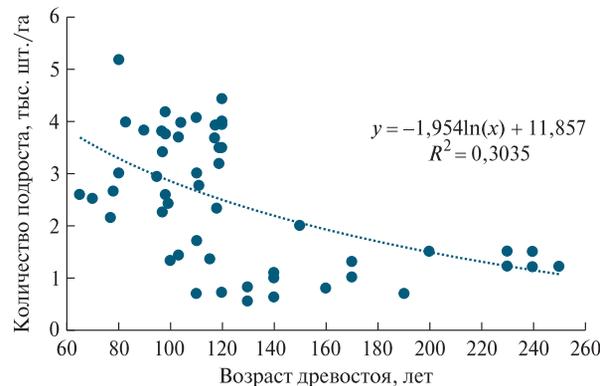


Рис. 7. Изменение количества подроста хвойных пород в ельнике черничном с возрастом

Fig. 7. Change in the amount of coniferous undergrowth in a blueberry spruce forest with age

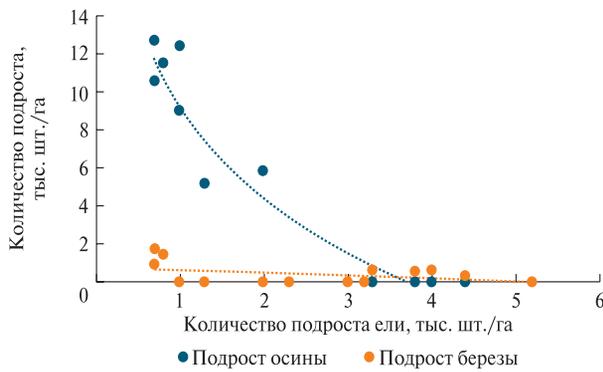


Рис. 8. Влияние подроста лиственных пород на количество подроста ели под пологом ельника черничного
Fig. 8. Effect of deciduous undergrowth on the amount of spruce undergrowth under the canopy of a blueberry spruce forest

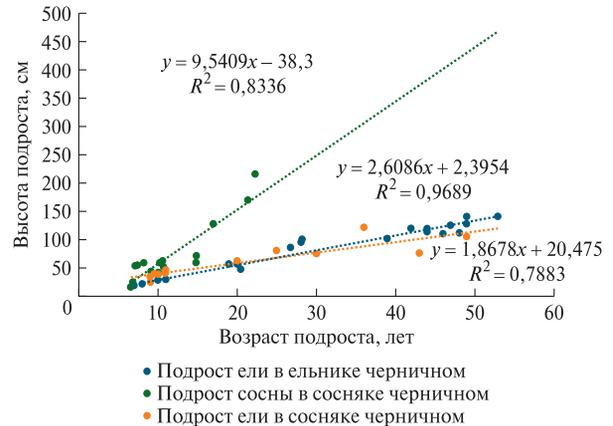


Рис. 9. Зависимость высоты подроста от его возраста
Fig. 9. Dependence of the undergrowth height on its age

Т а б л и ц а 2

Корреляционная матрица тесноты связи характеристик подроста сосны с характеристиками древостоев сосняков черничных
Closeness correlation matrix between the pine undergrowth characteristics and blueberry pine forests

Характеристики	Возраст древостоя, лет		Высота древостоя, м		Относительная полнота древостоя		Доля березы в составе древостоя		Возраст подроста, лет		Высота подроста, см		Количество подроста, тыс. шт./га	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Возраст древостоя, лет	—	—	0,78	6,44	0,14	0,49	0,41	1,62	-0,38	1,46	-0,20	0,70	-0,33	2,30
Высота древостоя, м	0,78	6,44	—	—	-0,14	0,47	0,26	0,92	-0,61	3,22	-0,45	1,87	0,21	0,73
Относительная полнота древостоя	0,14	0,49	-0,14	0,47	—	—	0,03	0,11	0,19	0,65	0,26	0,19	-0,66	7,40
Доля березы в составе древостоя	0,40	1,62	0,26	0,92	0,03	0,11	—	—	0,12	0,40	0,08	0,26	0,14	0,49
Возраст подроста, лет	-0,38	1,46	-0,61	3,22	0,19	0,65	0,12	0,40	—	—	0,91	18,20	-0,20	0,70
Высота подроста, см	-0,20	0,70	-0,45	1,87	0,26	0,91	0,08	0,26	0,91	18,20	—	—	0,08	0,26
Количество подроста, тыс. шт./га	-0,33	2,3	0,21	0,73	-0,66	7,40	0,14	0,49	-0,20	0,70	0,08	0,26	—	—

Примечание. Здесь и далее: 1 — коэффициент корреляции; 2 — достоверность коэффициента корреляции.

Полученные результаты подтверждают утверждения, изложенные в работах [25, 36, 39], о том, что лиственные породы, в том числе береза и тополь, являются сильными конкурентами хвойных пород.

В сосняке черничном значимое влияние возраста, высоты древостоя, доли участия березы в составе древостоя на характеристики подроста сосны не выявлено (табл. 2).

С увеличением относительной полноты древостоя сосняка черничного количество подроста сосны уменьшается ($r = -0,66$ при $t = 7,4$).

В сосняке черничном отмечается тенденция влияния возраста древостоя на возраст подроста сосны ($r = -0,33$) и количество подроста ($r = -0,50$); высоты древостоя — на возраст подроста ($r = -0,61$) и возраст подроста сосны ($r = -0,45$).

Т а б л и ц а 3

**Корреляционная матрица тесноты связи характеристик подроста ели
с характеристиками древостоев сосняков черничных**
Closeness correlation matrix between the spruce undergrowth
and the blueberry pine forests stands

Характеристики	Возраст древостоя, лет		Высота древостоя, м		Относительная полнота древостоя		Доля березы в составе древостоя		Возраст подроста, лет		Высота подроста, см		Количество подроста, тыс. шт./га	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Возраст древостоя, лет	–	–	0,99	124,39	0,22	0,83	–0,36	1,42	–0,63	4,01	–0,48	0,70	0,79	7,20
Высота древостоя, м	0,99	124,39	–	–	0,87	12,21	–0,33	1,27	–0,68	4,37	–0,52	2,50	0,78	7,01
Относительная полнота древостоя	0,22	0,83	0,87	12,21	–	–	–0,35	1,37	–0,78	6,98	–0,64	4,07	0,58	3,00
Доля березы в составе древостоя	–0,36	1,42	–0,33	1,27	–0,35	1,37	–	–	–0,05	0,16	–0,23	0,84	0,02	0,07
Возраст подроста, лет	–0,63	4,01	–0,68	4,37	–0,78	6,98	–0,05	0,16	–	–	0,89	14,53	–0,65	4,12
Высота подроста, см	–0,20	0,70	–0,52	2,50	–0,64	4,07	–0,23	0,84	0,89	14,53	–	–	–0,53	2,59
Количество подроста, тыс. шт./га	–0,48	0,70	0,78	7,01	0,58	3,00	0,02	0,07	–0,65	4,12	–0,53	2,59	–	–

Т а б л и ц а 4

**Корреляционная матрица тесноты связи характеристик подроста ели
с характеристиками древостоев ельников черничных**
Closeness correlation matrix between the spruce undergrowth
and the blueberry spruce forests

Характеристики	Возраст древостоя, лет		Высота древостоя, м		Относительная полнота древостоя		Доля березы в составе древостоя		Возраст подроста, лет		Высота подроста, см		Количество подроста, тыс. шт./га	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Возраст древостоя, лет	–	–	0,17	0,93	–0,55	4,19	–0,09	0,48	–0,53	3,90	–0,56	4,28	–0,56	4,60
Высота древостоя, м	0,17	0,93	–	–	0,07	0,35	–0,38	2,36	–0,50	3,49	–0,41	2,61	0,59	4,72
Относительная полнота древостоя	–0,55	4,19	0,07	0,35	–	–	–0,24	1,34	0,55	4,18	0,59	4,81	0,33	1,94
Доля березы в составе древостоя	–0,09	0,48	–0,38	2,36	–0,24	1,34	–	–	0,35	2,14	0,33	1,98	–0,4	2,55
Возраст подроста, лет	–0,53	3,90	–0,50	3,49	0,55	4,18	0,35	2,14	–	–	0,98	167,5	–0,35	2,11
Высота подроста, см	–0,56	4,28	–0,41	2,61	0,59	4,81	0,33	1,98	0,98	167,5	–	–	–0,26	1,46
Количество подроста, тыс. шт./га	–0,56	4,60	0,59	4,72	0,33	1,94	–0,40	2,55	–0,35	2,11	–0,26	1,46	–	–

В сосняке черничном с увеличением возраста древостоя возраст подростка ели уменьшается ($r = -0,63$ при $t = 4,0$), а количество подростка возрастает ($r = 0,79$ при $t = 7,2$) (табл. 3). Определена тенденция влияния возраста древостоя на высоту подростка ($r = -0,48$).

С увеличением высоты древостоя сосняка черничного возраст подростка ели уменьшается ($r = -0,68$ при $t = 4,4$), а количество подростка возрастает ($r = 0,78$ при $t = 7,0$). Выявлена тенденция влияния высоты древостоя на высоту подростка ($r = -0,52$).

С увеличением относительной полноты древостоя сосняка черничного возраст и высота подростка ели уменьшаются ($r = -0,78$ при $t = 7,0$; $r = -0,64$ при $t = 4,1$ соответственно). Отмечается тенденция влияния относительной полноты древостоя на количество подростка ($r = 0,58$). Рост количества хвойного подростка с увеличением полноты древостоя старше 70 лет связан со снижением количества подростка лиственных пород (см. рис. 6).

С повышением возраста подростка ели в сосняке черничном его высота повышается ($r = 0,89$ при $t = 14,5$), а количество подростка снижается ($r = -0,65$ при $t = 4,0$).

В ельнике черничном с увеличением возраста древостоя высота ($r = -0,56$ при $t = 4,3$) и количество подростка ели ($r = -0,56$ при $t = 4,6$) уменьшаются (табл. 4). Выявлена тенденция влияния возраста древостоя на возраст подростка ($r = -0,53$).

С увеличением высоты древостоя ельника черничного количество подростка возрастает ($r = 0,59$ при $t = 4,7$). Отмечается тенденция влияния высоты древостоя на возраст ($r = -0,50$) и высоту подростка ($r = -0,41$).

С увеличением относительной полноты древостоя ельника черничного возраст и высота подростка ели возрастают ($r = 0,55$ при $t = 4,2$; $r = 0,59$ при $t = 4,8$ соответственно). Отмечается тенденция влияния относительной полноты древостоя на количество подростка ($r = 0,33$).

Установлена тенденция влияния доли березы в составе древостоя ельника черничного на возраст ($r = 0,35$) и высоту подростка ели ($r = 0,33$).

Выявлено закономерное увеличение высоты подростка с возрастом ($r = 0,89 - 0,98$ при $t = 14,5 - 167,53$) (рис. 9).

Зависимость высоты подростка от его возраста можно описать линейным уравнением в сосняке черничном для подростка сосны: $y = 9,5409x - 38,3$; в сосняке черничном для подростка ели: $y = 1,8678x + 20,475$; в ельнике черничном для подростка ели: $y = 2,6086x + 2,3954$. Можно отметить, что аллометрические закономерности формирования подростка в сосняке черничном и ельнике черничном схожи.

Выводы

В разных лесорастительных условиях возобновительный потенциал хвойных пород различен. Наибольшее количество подростка сосны отмечается в сосняке кустарничково-сфагновом. Возобновление сосной успешно также в сосняке лишайниковом, черничном.

Наибольшее количество подростка ели встречается в ельнике черничном. Возобновление елью успешно также в сосняке папоротниково-кисличном, ельнике осоково-сфагновом.

В сосняках кустарничково-сфагновых количество подростка хвойных пород с увеличением возраста древостоя растет.

В сосняках черничных максимальное количество подростка хвойных пород наблюдается в древостое IV класса возраста. При повышении полноты средневозрастного и приспевающего древостоя (до 70 лет) отмечается сокращение количества подростка хвойных пород. В древостоях старше 70 лет при снижении полноты увеличивается доля подростка лиственных пород, при этом сокращается количество хвойного подростка. С ростом относительной полноты сокращается количество подростка сосны, с увеличением возраста и высоты древостоя — количество подростка ели растет, а возраст снижается. Если повышается относительная полнота древостоя, уменьшаются высота и возраст подростка ели.

В ельнике черничном V класса возраста отмечается максимальное количество подростка хвойных. При появлении подростка осины количество подростка ели резко сокращается. С увеличением возраста высота и количество подростка ели сокращается; если высота древостоя увеличивается, количество подростка ели растет; при увеличении относительной полноты возраст и высота подростка ели повышаются.

Составлены модели роста подростка сосны и ели по пологом разных типов леса. Изменение высоты подростка хвойных пород с возрастом описывается линейным уравнением.

Полученные данные могут служить информационной базой для совершенствования способов и технологий рационального ведения лесного хозяйства.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФБУ «СевНИИЛХ» на проведение прикладных научных исследований. Регистрационный номер: 123032700030-9, государственного задания Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова УрО РАН. Номер государственной регистрации – FUUW-2024-0011.

Список литературы

- [1] Sumichrast L., Vencurik J., Pittner J., Kucbel S. The long term dynamics of the old-growth structure in the National Nature Reserve Badinsky prales // *J. Forest Science*, 2020, v. 66, no. 12, pp. 501–510.
- [2] Seidl R., Thom D., Kautz M. Forest disturbances under climate change // *Nature climate change*, 2017, v. 7, pp. 395–402.
- [3] Knocke H., Axer M., Hamkens H.F., Fischer Ch. Quo vadis Scots pine forestry in northern Germany: How do silvicultural management and climate change determine an uncertain future? // *European J. of Forest Research*, 2024, no. 143 (5), pp. 1477–1497. DOI:10.1007/s10342-024-01701-0
- [4] Тетюхин С.В., Павская М.В. Общая оценка естественного лесовозобновления по преобладающим породам, типам леса и типам лесорастительных условий на территории Лисинской части Учебно-опытного лесничества Ленинградской области // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии*, 2021. Вып. 235. С. 71–83. DOI: 10.21266/2079-4304.2021.235.71-83
- [5] Дружинин Ф.Н. Лесоводственно-экологические основы восстановления ельников в производных лесах Восточно-Европейской равнины: дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.03.02, 06.03.01, Вологда, 2013. 389 с.
- [6] Сунгурова Н.Р. Теория и практика искусственного лесовосстановления на севере Русской равнины: дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.03.01. Архангельск, 2017. 391 с.
- [7] Теринов Н.Н. Концепция трансформации производных мягколиственных насаждений в темнохвойные с целью повышения продуктивности лесов Урала: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.03.02. Екатеринбург, 2014. 44 с.
- [8] Тихомирова А.А., Грязькин В.В., Гаврилова О.И. Возобновительный потенциал сосны. СПб.: Лань, 2025. 112 с.
- [9] Матвеева А.С., Беляева Н.В., Ищук Т.А. Закономерности естественного возобновления ели европейской разных фенологических форм в условиях Ленинградской области. СПб.: Изд-во ООО ИПЦ «Измайловский», 2024. 236 с.
- [10] Цветков В.Ф. Лесовосстановление. Природа, закономерности, прогноз. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2008. 211 с.
- [11] Стороженко В.Г. Естественное возобновление в коренных разновозрастных ельниках Европейской тайги России // *Сибирский лесной журнал*, 2017. № 3. С. 87–92.
- [12] Тараканов А.М., Симаков А.А., Капистка В.В., Дворяшин А.В., Бобушкина С.В., Сурина Е.А. Потенциал восстановления лесов на избыточно-увлажненных почвах Европейского Севера России // *Леса России: политика, промышленность, наука, образование: Материалы IV науч.-техн. конф.*, Санкт-Петербург, 24–26 мая 2023 г. СПб: Изд-во СПбГУ, 2019. С. 168–172.
- [13] Волков С.Н., Мухин А.С., Чистяков С.А., Налепин В.П., Кондрашина Е.С. Особенности естественного лесовозобновления в условиях южной тайги на примере ельников заповедника «Кологривский лес» // *Лесохозяйственная информация*, 2021. № 2. С. 39–48.
- [14] Дружинин Н.А., Дружинин Ф.Н. Возобновление леса и возрастное строение древостоев на торфяных почвах. Вологда: Полиграф-Периодика, 2021. 118 с.
- [15] Гусев Д.В. Ландшафтные особенности влияния лесных низовых пожаров на возобновление сосны: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. 06.03.02; Санкт-Петербург, 2022. 24 с.
- [16] Зарубина Л.В., Дружинин Ф.Н., Пешин Д.А. Оценка возобновительных процессов под пологом приспевающих хвойных древостоев в Вологодской области // *Хвойные бореальной зоны*, 2022. Т. XL, № 6. С. 474–479.
- [17] Манов А.В., Кутявин И.Н. Динамика структуры и состояния древесного яруса среднетаежных коренных ельников предгорий Северного Урала // *Лесоведение*, 2023. № 6. С. 587–595.
- [18] Стороженко В.Г. Санитарное состояние коренных ельников тайги Европейской России // *Лесной вестник / Forestry Bulletin*, 2023. Т. 27. № 1. С. 17–25. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-1-17-25
- [19] Исаков А.Т., Бузыкин А.И. Метод оценки естественного возобновления еловых лесов Прииссыкуля // *Хвойные бореальной зоны*, 2012. № 3–4. С. 214–219.
- [20] Кутявин И.Н. Структурная организация, рост и продуктивность древостоев сосновых экосистем Европейского Северо-Востока России: дис. ... д-ра биол. наук: 4.1.6. Сыктывкар, 2024. 448 с.
- [21] Lula M., Langvall O., Karlsson C. Regeneration methods for Scots pine and lodgepole pine: a comparison in Central Sweden // *Scandinavian J. of Forest Research*, 2025, no. 11, p. 389185521. DOI:10.1080/02827581.2025.2466576
- [22] Kyrö M., Hallikainen V., Valkonen S., Hyppönen M., Puttonen P., Bergsten U., Winsa H., Rautio P. Effects of overstorey tree density, site preparation, and ground vegetation on natural Scots pine seedling emergence and survival in northern boreal pine forests // *Can J. For. Res.*, 2022, v. 52(5), pp. 860–869. DOI:10.1139/cjfr-2021-0101
- [23] Huth F., Wehnert A., Wagner S. Natural Regeneration of Scots Pine Requires the Application of Silvicultural Treatments such as Overstorey Density Regulation and Soil Preparation // *Forests*, 2022, no. 13 (817), p. 360938152. DOI:10.3390/fl3060817
- [24] Jacobson S., Hannerz M. Natural regeneration of lodgepole pine in boreal Sweden // *Biological invasions*, 2020, no. 22 (7), pp. 1–11. DOI:10.1007/s10530-020-02262-0
- [25] Löf M., Dey D., Navarro R. Mechanical site preparation for forest restoration // *New Forests*, 2012, no. 5–6 (43), pp. 825–848. DOI 10.1007/s11056-012-9332-x
- [26] Бобушкина С.В., Сурина Е.А., Сеньков А.О. Лесные Арктические экосистемы: состояние и динамика // *Биосферное хозяйство: теория и практика*, 2018. № 3 (6). С. 11–18.
- [27] Сукачев В.Н., Зонн С.В. Методические указания к изучению типов леса. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 227 с.
- [28] Гусев И.И. Таксация древостоя. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2000. 71 с.
- [29] Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 29.12.2021 № 1024 «Об утверждении правил лесовосстановления, формы, состава, порядка согласования проекта лесовосстановления, оснований для отказа в

- его согласовании, а также требований к формату в электронной форме проекта лесовосстановления». URL: <https://docs.cntd.ru/document/728111110> (дата обращения 10.02.2025).
- [30] Мелехов И.С. Лесоведение. М.: МГУЛ, 1999. 302 с.
- [31] Чепик Ф.А. Определитель деревьев и кустарников. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ(ЛЭТИ), 2021. 239 с.
- [32] Грязькин А.В. Возобновительный потенциал таежных лесов (на примере ельников Северо-Запада России). СПб.: Изд-во СПбГЛТА, 2001. 188 с.
- [33] Астрологова Л.Е. Типы вырубок и лесовозобновление древесных пород. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2002. 96 с.
- [34] Данчева А.В., Залесов С.В. Влияние рубок ухода на биологическую устойчивость сосняков защитного назначения Северного Казахстана // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 4. С. 5–13. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-4-5-13
- [35] Нгуен Ван Зинь, Шахов А.Г., Ву Ван Хунг Особенности самовозобновления сосны обыкновенной // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: Материалы II Междунар. науч.-техн. конф., Санкт-Петербург, 24–26 мая 2017 г. СПб.: Изд-во СПбГЛТУ, 2017. Т. 1. С. 40–42.
- [36] McCarthy N., Bentsen N.S., Willoughby I., Balandier Ph. The state of forest vegetation management in Europe in the 21 st century // Environmental Research Letters, 2019, v. 14, no. 5, pp. 231–245. DOI:10.1007/s10342-010-0429-5
- [37] Галдина Т.Е., Хазова Е.П. Влияние климатогеографических факторов на адаптационную способность сосны обыкновенной // Лесотехнический журнал, 2020. Т. 10. № 3 (39). С. 35–42.
- [38] Манов А.В., Кутявин И.Н. Горизонтальная структура древостоев и подростов северотаежных коренных ельников чернично-сфагновых в Приуралье // ИзВУЗ Лесной журнал, 2018. № 6. С. 78–88.
- [39] Nilsson O., Hjelm K., Nilsson U. Early growth of planted Norway spruce and Scots pine after site preparation in Sweden // Scandinavian J. of Forest Research, 2019, no. 34 (2), pp. 1–11. DOI:10.1080/02827581.2019.1659398

Сведения об авторах

Тюкавина Ольга Николаевна  — д-р с.-х. наук, профессор, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (САФУ); вед. науч. сотр., ФБУ «Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства» (СевНИИЛХ), o.tukavina@narfu.ru

Сурина Елена Анатольевна — канд. с.-х. наук, вед. науч. сотр., ФБУ «Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства» (СевНИИЛХ), surina_ea@sevniilh-arh.ru

Феклистов Павел Александрович — д-р. с.-х. наук, профессор, гл. науч. сотр. лаборатории приарктических лесных экосистем, ФГБУН Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук, pfeklistov@yandex.ru

Клевцов Денис Николаевич — д-р биол. наук, зав. кафедрой биологии, экологии и биотехнологии Высшей школы естественных наук и технологий, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (САФУ), d.klevtsov@narfu.ru

Болотов Иван Николаевич — д-р биол. наук, член-кор. РАН, директор ФГБУН Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук, inepras@yandex.ru

Поступила в редакцию 22.04.2025.

Одобрено после рецензирования 22.07.2025.

Принята к публикации 01.08.2025.

FORESTS REGENERATION CAPABILITY IN SUB-ARCTIC ZONE OF EUROPEAN NORTH

O.N. Tyukavina^{1, 2✉}, E.A. Surina², P.A. Feklistov^{1, 3},
D.N. Klevtsov¹, I.N. Bolotov³

¹Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, 17, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 163002, Arkhangelsk, Russia

²Northern Research Institute of Forestry, 13, Nikitova st., 163062, Arkhagelsk, Russia

³Federal Research Center for Integrated Arctic Studies named after Academician N.P. Laverov, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 20, Nikolsky av., 163020, Arkhangelsk, Russia

o.tukavina@narfu.ru

The article studies natural reforestation of conifers in the Arctic zone of the European North. It has been established that the regeneration capability of coniferous species varies depending on different forest conditions. The largest amount of pine undergrowth is observed in shrubby-sphagnum pine forests ($4,0 \pm 0,6$ thousand units/ha). Pine regeneration is also successful in lichen and blueberry pine forests. The largest amount of spruce undergrowth is observed in the blueberry spruce forest (3,4 thousand units/ha). Spruce regeneration is also successful in fern-acid pine and sedge-sphagnum spruce forests. The amount of spruce undergrowth tends to increase in overgrown blueberry spruce forests (about 200 years old) from the west to the east. It was revealed that in the shrubby-sphagnum pine forests, the coniferous undergrowth increases with an increased age of the stand. The maximum amount of coniferous undergrowth in blueberry pine is observed in the stand of the 4th age class. It is shown that the reproduction of coniferous undergrowth under the canopy of blueberry pine is influenced by age, height, relative completeness of the stand, and the presence of hardwood undergrowth. The maximum coniferous undergrowth is noted in the blueberry spruce forest of the 5th grade of age. The success of coniferous undergrowth regeneration under the canopy of blueberry spruce is influenced by age, height, relative completeness of the stand, and the presence of aspen undergrowth. We have revealed the dependence of the undergrowth height on its age has been revealed, which can be described by a linear equation. The allometric patterns of spruce undergrowth formation in blueberry pine and blueberry spruce forest are similar. It is recommended that the data obtained be used as an informative base for improving the methods and techniques of rational forestry management.

Keywords: success of reforestation, pine, spruce, type of forest, height of undergrowth, age of undergrowth, taxation characteristics of a stand

Suggested citation: Tyukavina O.N., Surina E.A., Feklistov P.A., Klevtsov D.N., Bolotov I.N. *Vozobnovitel'nyy potentsial lesov priarkticheskoy zony Evropeyskogo Severa* [Forests regeneration capability in sub-arctic zone of European North]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2025, vol. 29, no. 5, pp. 5–21.

DOI: 10.18698/2542-1468-2025-5-5-21

References

- [1] Sumichrast L., Vencurik J., Pittner J., Kucbel S. The long term dynamics of the old-growth structure in the National Nature Reserve Badinsky praes. *J. Forest Science*, 2020, v. 66, no. 12, pp. 501–510.
- [2] Seidl R., Thom D., Kautz M. Forest disturbances under climate change. *Nature climate change*, 2017, v. 7, pp. 395–402.
- [3] Knocke H., Axer M., Hamkens H.F., Fischer Ch. Quo vadis Scots pine forestry in northern Germany: How do silvicultural management and climate change determine an uncertain future? *European J. of Forest Research*, 2024, no. 143 (5), pp. 1477–1497. DOI:10.1007/s10342-024-01701-0
- [4] Tetiukhin S.V., Pavskaiia M.V. *Obshchaia otsenka estestvennogo lesovoz-obnovleniia po preobladaiushchim porodam tipam lesa i tipam lesorastitel'nykh uslo vii na territorii Lisinskoj chasti Uchebno-opyt'nogo lesnichestva Leningradskoi oblasti* [General assessment of natural reforestation by the prevailing species, types of forest and types of growing conditions on the territory of the Lisinsky part of the Leningrad Region Training and Experimental Forestry]. *Izvestiia Sankt-Peterburgskoi lesotekhnicheskoi akademii* [Proceedings of the St. Petersburg Forestry Academy], 2021, iss. 235, pp. 71–83. DOI: 10.21266/2079-4304.2021.235.71-83
- [5] Druzhinin F.N. *Lesovodstvenno-ekologicheskie osnovy vosstanovleniia elnikov v proizvodnykh lesakh vostochno-evropejskoi ravniny* [Forestry and ecological foundations of spruce forests restoration in the derived forests of the East European plain]. *Dis. Dr. Sci. (Agric.) 03.06.02*, Vologda, 2013, 389 p.
- [6] Sungurova N.R. *Teoriia i praktika iskusstvennogo lesovosstanovleniia na severe Russkoi ravniny* [Theory and practice of artificial reforestation in the north of the Russian Plain]. *Dis. Dr. Sci. (Agric.) 03.06.01*. Arkhangelsk, 2017, 391 p.
- [7] Terinov N.N. *Kontseptsiiia transformatsii proizvodnykh miagkolistvennykh nasazhdenii v temnokhoivnye s tseliu povysheniia produktivnosti lesov Urala* [The concept of transformation of soft-leaved derivatives into dark coniferous plantations in order to increase the productivity of forests in the Urals]. *Dis. Dr. Sci. (Agric.) 03.06.02*. Yekaterinburg, 2014, 44 p.
- [8] Tikhomirova A.A., Griazkin V.V., Gavrilova O.I. *Vozobnovitelnyi potentsial sosny* [The renewable potential of pine]. Saint Petersburg: Lan', 2025, 112 p.

- [9] Matveeva A.S., Beliaeva N.V., Ishchuk T.A. *Zakonomernosti estestvennogo vozobnovleniia eli evropeiskoi raznykh fenologicheskikh form v usloviakh Leningradskoi oblasti* [Patterns of natural regeneration of European spruce of various phenological forms in the conditions of the Leningrad region]. St. Petersburg: Publishing house of LLC CPI Izmailovsky, 2024, 236 p.
- [10] Tsvetkov V.F. *Lesovosstanovlenie Priroda zakonomernosti prognoz* [Reforestation. Nature, patterns, forecast]. Arkhangel'sk: Publishing house of AGTU, 2008, 211 p.
- [11] Storozhenko V.G. *Estestvennoe vozobnovlenie v korennykh razno-vozrastnykh elnikakh Evropeiskoi taigi Rossii* [Natural regeneration in native unevenaged spruce forests of the European Russian taiga]. *Sibirskiy Lesnoy zhurnal* [Siberian J. of Forest Science], 2017, no. 3, pp. 87–92. DOI: 10.15372/SJFS20170309
- [12] Tarakanov A.M., Simakov A.A., Kapistka V.V., Dvoriashin A.V., Bo-bushkina S.V., Surina E.A. *Potentsial vosstanovleniia lesov na izbytochno-uvlazhnennykh pochvakh Evropeiskogo Severa Rossii* [The potential of forest restoration on excessively moistened soils of the European North of Russia]. *Lesnaya Rossiya politika promyshlennost nauka obrazovanie Materialy IV nauchno-tekhnicheskoi konferentsii* [Forests of Russia: politics, industry, science, education. Materials of the IV scientific and technical conference], Sankt-Peterburg, 24–26 maya 2023. St. Petersburg: Peter the Great St. Petersburg Technical University, 2019, pp. 168–172.
- [13] Volkov S.N., Mukhin A.S., Chistiakov S.A., Nalepin V.P., Kondrashina E.S. *Osobennosti estestvennogo lesovozobnovleniia v usloviakh tuzhnoi taigi na primere elnikov zapovednika Kologrivskii les* [Forest Regeneration in the Conditions of the Southern Taiga on the Example of the Spruce Stands of the «Kologrivsky Forest» Nature Reserve]. *Lesokhoziaistvennaia informatsiia* [Forestry information], 2021, no. 2, pp. 39–48. DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2021.2.04.
- [14] Druzhinin N.A., Druzhinin F.N. *Vozobnovlenie lesa i vozrastnoe stroenie drevostoev na torfiannykh pochvakh* [Forest renewal and age structure of stands on peat soils. Vologda: Publishing House of the Publishing House PF «Polygraph Periodicals», 2021, 118 p.
- [15] Gusev D.V. *Landshafnyye osobennosti vliianiia lesnykh nizovykh pozharov na vozobnovlenie sosny* [Landscape features of the impact of forest fires on the renewal of pine trees]. *Dis. Cand. Sci. (Agric.)* 03.06.02]. St. Petersburg, 2022, 24 p.
- [16] Zarubina L.V., Druzhinin F.N., Peshin D.A. *Otsenka vozobnovitelnykh protsessov pod pologom prispevaiushchikh khvoynnykh drevostoev v Vologodskoi oblasti* [Evaluation of renewable processes under canopy of flourishing coniferous forest crop in Vologda region]. *Khvoynnye boreal'noy zony* [Conifers of the boreal area], 2022, v. XL, no. 6, pp. 474–479. DOI: 10.53374/1993-0135-2022-6-474-479
- [17] Manov A.V., Kutiavin I.N. *Dinamika struktury i sostoiianiia drevesnogo iarusy srednetaezhnykh korennykh elnikov predgorii Severnogo Urala* [Tree Storey Structure and Condition Dynamics in Middle-Taiga Native Spruce Forests of the Northern Ural Foothills]. *Lesovedenie* [Forestry science], 2023, no. 6, pp. 587–595. DOI: 10.31857/S0024114823050054
- [18] Storozhenko V.G. *Sanitarnoe sostoyanie korennykh el'nikov taygi Evropeyskoy Rossii* [Sanitary condition of native taiga spruce in European Russia]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2023, vol. 27, no. 1, pp. 17–25. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-1-17-25
- [19] Isakov A.T., Buzykin A.I. *Metod otsenki estestvennogo vozobnovleniia elovykh lesov Priissykulia* [A method for assessing the natural renewal of spruce forests in the Issyk-Kul region]. *Khvoynnye boreal'noy zony* [Conifers of the boreal area], 2012, no. 3–4, pp. 214–219.
- [20] Kutiavin I.N. *Strukturnaia organizatsiia rost i produktivnost drevostoev sosnovykh ekosistem Evropeiskogo Severo-Vostoka Rossi* [Structural organization, growth and productivity of stands of pine ecosystems of the European Northeast of Russia]. *Dis. Dr. Sci. (Biol.)* 4.1.6. Syktyvkar, 2024, 448 p.
- [21] Lula M., Langvall O., Karlsson C. *Regeneration methods for Scots pine and lodgepole pine: a comparison in Central Sweden*. *Scandinavian J. of Forest Research*, 2025, no. 11, p. 389185521. DOI:10.1080/02827581.2025.2466576
- [22] Kyrö M., Hallikainen V., Valkonen S., Hyppönen M., Puttonen P., Bergsten U., Winsa H., Rautio P. *Effects of overstorey tree density, site preparation, and ground vegetation on natural Scots pine seedling emergence and survival in northern boreal pine forests*. *Can. J. For Res.*, 2022, no. 52(5), pp. 860–869. Doi:10.1139/cjfr-2021-0101.
- [23] Huth F., Wehnert A., Wagner S. *Natural Regeneration of Scots Pine Requires the Application of Silvicultural Treatments such as Overstorey Density Regulation and Soil Preparation*. *Forests*, 2022, no. 13 (817). p. 360938152. DOI:10.3390/f13060817
- [24] Jacobson S., Hannerz M. *Natural regeneration of lodgepole pine in boreal Sweden*. *Biological Invasions*, 2020, no. 22 (7), pp. 1–11. DOI:10.1007/s10530-020-02262-0
- [25] Löf M., Dey D., Navarro R. *Mechanical site preparation for forest restoration*. *New Forests*, 2012, no. 5-6 (43), pp. 825–848. DOI 10.1007/s11056-012-9332-x
- [26] Bobushkina S.V., Surina E.A., Senkov A.O. *Lesnye Arkticheskie ekosistemy sostoianie i dinamika* [Arctic forest ecosystems: state and dynamics]. *Biosfernoe khoziaistvo teoriia i praktika* [Biosphere economy: theory and practice], 2018, no. 3 (6), pp. 11–18.
- [27] Sukachev V.N., Zonn S.V. *Metodicheskie ukazaniia k izucheniiu tipov lesa* [Methodological guidelines for the study of forest types]. Moscow: USSR Academy of Sciences, 1961, 227 p.
- [28] Gusev I.I. *Taksatsiia drevostoia* [Taxation of tree stands]. Arkhangel'sk: Publishing House of AGTU, 2000, 71 p.
- [29] Prikaz Ministerstva prirodnykh resursov i ekologii Rossiyskoy Federatsii ot 29.12.2021 №1024 «Ob utverzhenii pravil lesovosstanovleniya, formy, sostava, poryadka soglasovaniya proekta lesovosstanovleniya, osnovaniy dlya otказа v ego soglasovani, a takzhe trebovaniy k formatu v elektronnoy forme proekta lesovosstanovleniya» [Order of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation No. 1024 dated 12/29/2021 «On approval of the rules of reforestation, form, composition, procedure for approving the reforestation project, grounds for refusal to approve it, as well as requirements for the format in electronic form of the reforestation project»]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/728111110> (accessed 10.02.2025).

- [30] Melekhov I.S. *Lesovedenie* [Forestry]. Moscow: MGUL, 1999, 302 p.
- [31] Чепик Ф.А. *Opredelitel derevev i kustarnikov* [Determinant of trees and shrubs]. St. Petersburg: SPbSETU Publishing House (LETI), 2021, 239 p.
- [32] Griazkin A.V. *Vozobnovitelnyi potentsial taezhnykh lesov na primere elnikov Severo-Zapada Rossii* [Renewable potential of taiga forests (on the example of spruce forests in Northwestern Russia)]. St. Petersburg: SPbGLTA Publ., 2001, 188 p.
- [33] Astrologova L.E. *Tipy vyrubok i lesovozobnovlenie drevesnykh porod* [Types of deforestation and reforestation of tree species]. Arkhangelsk: Publishing House of AGTU, 2002, 96 p.
- [34] Dancheva A.V., Zalesov S.V. *Vliyanie rubok ukhoda na biologicheskuyu ustoychivost' sosnyakov zashchitnogo naznacheniya Severnogo Kazakhstana* [Influence of thinning on protective pineries biosustainability in Northern Kazakhstan]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 4, pp. 5–13. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-4-5-13
- [35] Nguen Van Zin, SHakhov A.G., Vu Van KHung *Osobennosti samovozob-novleniia sosny obyknovvennoi* [Features of self-renewal of the common pine]. *Lesa Rossii: politika promyshlennost nauka, obrazovanie: materialy II Mezhdunarodnoi nauchno-tehnicheskoi konferentsii* [Forests of Russia: politics, industry, science, education: proceedings of the II International Scientific and Technical Conference], Sankt-Peterburg, 24–26 maya 2017. St. Petersburg: SPbGLTU, 2017, v. 1, pp. 40–42.
- [36] McCarthy N., Bentsen N.S., Willoughby I., Balandier Ph. The state of forest vegetation management in Europe in the 21 st century. *Environmental Research Letters*, 2019, v. 14, no. 5, pp. 231–245. DOI:10.1007/s10342-010-0429-5
- [37] Galdina T.E., Khazova E.P. *Vliianie klimatogeograficheskikh faktorov na adaptatsionnuiu sposobnost sosny obyknovvennoi* [Influence of climatic and geographic factors on the scots pine adaptability]. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry Engineering J.], 2020, v. 10, no. 3 (39), pp. 35–42. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2020.3/4
- [38] Manov A.V., Kutiavin I.N. *Gorizontalnaia struktura drevostoev i podrosta severotaezhnykh korennykh elnikov chernichno-sfagnovykh v Priural'e* [Horizontal Structure of Forest Stands and New Growth of Northern Taiga Virgin Blueberry-Sphagnum Spruce Forests in Cisurals]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry Journal], 2018, no. 6, pp. 78–88. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.78
- [39] Nilsson O., Hjelm K., Nilsson U. Early growth of planted Norway spruce and Scots pine after site preparation in Sweden. *Scandinavian J. of Forest Research*, 2019, no. 34 (2), pp. 1–11. DOI:10.1080/02827581.2019.1659398

The work was carried out within the framework of the state assignment of the SevNILH Foundation for applied scientific research. Registration number: 123032700030-9, State assignment of the Federal Research Center for Integrated Arctic Studies named after Academician N.P. Laverov Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. The state registration number is FUUW-2024-0011.

Authors' information

Tyukavina Ol'ga Nikolaevna ✉ — Dr. Sci. (Agriculture), Professor of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov; Leading Research Associate of the Northern Research Institute of Forestry, o.tukavina@narfu.ru

Surina Elena Anatol'evna — Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher of the Northern Research Institute of Forestry, surina_ea@sevniih-arh.ru

Feklistov Pavel Aleksandrovich — Dr. Sci. (Agriculture), Professor, Chief Researcher at the Laboratory of Arctic Forest Ecosystems, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic; Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, pfeklistov@yandex.ru

Klevtsov Denis Nikolaevich — Dr. Sci. (Biology), Head of the Department of Biology, Ecology and Biotechnology of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, d.klevtsov@narfu.ru

Bolotov Ivan Nikolaevich — Dr. Sci. (Biology), Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Director of the N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, inepras@yandex.ru

Received 22.04.2025.

Approved after review 22.07.2025.

Accepted for publication 01.08.2025.

Вклад авторов: все авторы в равной доле участвовали в написании статьи
 Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
 Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article
 The authors declare that there is no conflict of interest

ПИРОГЕННАЯ ДИНАМИКА ЛЕСОВ В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

Н.И. Мирсияпов, С.Г. Глушко✉, И.К. Сингатуллин, Б.Л. Иванов

ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», Россия, 420015, г. Казань,
ул. К. Маркса, д. 65

glushkosg@mail.ru

Представлена краткая характеристика факторов, определяющих пожарную опасность в лесах Республики Татарстан. Проанализирована информация о борьбе с лесными пожарами, начиная с 2020 г. Установлено наличие пирогенной растительности в составе лесов. Изучены породный состав, возрастная структура и восстановительная динамика лесов пирогенного происхождения, приведена их характеристика. Изложены результаты исследования послепожарных лесных сукцессий, идущих в лесном фонде Республики Татарстан. Обращено внимание на хорошее естественное возобновление на первом этапе зарастания гарей. Указана необходимость формирования системы рубок ухода за ценным подростом, появляющимся на лесных гарях, в целях формирования более благоприятных восстановительных смен в лесных сообществах. Предложено относить лесные сукцессии с наблюдаемыми последствиями пирогенного воздействия к пирогенным — восстановительным. Показана важность более качественного учета послепожарной растительности в ходе лесоустройства с отметкой о ее пирогенном происхождении. Предложены меры для повышения эффективности охраны лесов. Рекомендуются дальнейшая систематизация послепожарных лесных сукцессий по наблюдаемым итогам и перспективам восстановительных процессов.

Ключевые слова: лесные пожары, охрана лесов, пирогенная динамика, восстановительные сукцессии

Ссылка для цитирования: Мирсияпов Н.И., Глушко С.Г., Сингатуллин И.К., Иванов Б.Л. Пирогенная динамика лесов в условиях Республики Татарстан // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2025. Т. 29. № 5. С. 22–34. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-5-22-34

Смена типично-коренных лесов на производные сопровождается повсеместным распространением лесовосстановительных сукцессий, которые отличаются от обычных для коренных лесов возрастных смен и заслуживают дальнейшего исследования [1]. Данное обстоятельство присуще послепожарной растительности и раскрывает пирогенную динамику современных лесов в пределах Республики Татарстан. В связи с особой опасностью лесные пожары как существенный фактор определяют восстановительные и лесообразовательные процессы, а также взаимосвязанный с ними комплекс лесохозяйственных мероприятий [2–4].

Повсеместная смена коренных лесов на производные связана с изменением лесорастительных условий, сопровождаемых деградацией биосреды и возрастанием роли абиотических факторов средообразования. Разрушение лесной биоты носит масштабный и постоянный характер, существенно влияя на лесообразовательные процессы в современных условиях. Широкое распространение лесовосстановительных

смен в кардинально изменяющихся лесорастительных условиях способствует разнообразию наблюдаемых смен. Смены, происходящие в коротко-производных, длительно-производных, устойчиво-производных и иных лесах, различаются по своим результатам. В частности, широко распространенные устойчиво-производные леса постепенно утрачивают восстанавливаемость или устойчивость. Производительность многих лесов приобрела устойчивость, а восстановление условно-коренных лесов стало проблематичным.

Восстановительная динамика лесов определяется не только исходными природными условиями, характерными для рассматриваемого типа леса, но и комплексом иных факторов, оказавших разрушительное воздействие на исходно-коренные леса, а также факторов, сопровождающих данное разрушение. Дальнейший ход лесовосстановления зависит не только от интенсивности рубки или прогорания рассматриваемого лесного участка, но и от погодных условий, наличия семенных деревьев и массы иных, часто случайных, факторов. В сложных лесных сообществах элемент случайности возрастает, усложняя восстановительную динамику таких сообществ.

В рассматриваемых нами лесах пожаром была уничтожена большая часть древостоя. В течение последующих после пожара нескольких лет остатки усыхающего древостоя продолжали служить источником семян и дальнейшего лесовозобновления. Под пологом деградирующего допожарного древостоя формировался подрост, затем — послепожарный молодняк. Формирование на рассматриваемой гари подроста и молодняка сопровождалось подавлением роста относительно ценной сосны и ускоренным разрастанием мягколиственных пород. В наблюдаемом нами послепожарном молодняке была выявлена неблагоприятная смена преобладающей на первом этапе сосны на преобладание березы. Исследование послепожарной динамики лесов, в том числе с оценкой хода лесных смен и особенностей формирования молодняков пирогенного происхождения традиционно относится к кругу актуальных задач лесного хозяйствования.

Цель работы

Цель работы — исследование региональной специфики пирогенной динамики лесов в современных условиях Республики Татарстан.

Материалы и методы

В задачи исследований входила оценка опыта борьбы с лесными пожарами, описание пирогенных лесных сукцессий, а также разработка мероприятий по повышению эффективности ведения лесного хозяйства в лесных сообществах, поврежденных природными пожарами [5–7].

В соответствии с лесопожарным районированием европейской части России все Среднее Поволжье, включая Татарстан, относится к зоне апрельских лесных пожаров [8–10]. Пожароопасный сезон начинается в апреле и заканчивается в октябре. Региональная специфика лесных пожаров определяется наличием в Татарстане двух лесорастительных зон: хвойно-широколиственных лесов и лесостепной зоны, а также высокой доступностью и горимостью лесов [11]. В качестве методической основы выполняемых работ использовано предположение о сочетании маршрутно-рекогносцировочного обследования лесов и стационарных исследований [12–14]. Кроме того, рассматриваются результаты анализа материалов лесоустройства, отчетные данные Министерства лесного хозяйства Республики Татарстан, материалы обследования пирогенной растительности [9–11]. Работы велись в пределах лесного фонда Республики Татарстан, преимущественно в Предкамье.

Лесные пожары наносят большой ущерб лесным ресурсам. Для борьбы с ними задействуются работники лесничеств, привлекается общественность. В результате выполнения большого объема противопожарных мероприятий в Татарстане за последние 10 лет удалось добиться больших успехов: возгорания в лесах практически сразу выявляются, принимаются необходимые меры, благодаря которым ущерб от пожаров сведен к минимуму.

Последний раз существенные пожары в Татарстане были зафиксированы в 2010 г. Тогда в лесничествах Татарстана было отмечено 99 лесных пожаров, в том числе катастрофические, распространившиеся на площади до 20–25 га. Эти пожары были в значительной степени вызваны катастрофической засухой, которая привела не только к пожарам, но и стала причиной массового усыхания ельников. Во избежание повторения засухи и иных неблагоприятных природных явлений, связанных с ней, было принято решение о проведении профилактической работы по охране и защите леса.

Для борьбы с последствиями лесных пожаров требуются сведения об особенностях пирогенной динамики лесов. Повреждение лесов пожарами заметно отражается на их дальнейшей динамике. Деградация древостоев, поврежденных пожарами, часто приводит к неблагоприятным сменам. Гибель хвойных и твердолиственных лесонасаждений, как правило, сопровождается разрастанием пионерных осиново-березовых древостоев, не всегда ценных в хозяйственном отношении. Большое значение приобретает формирование относительно ценного подроста под пологом поврежденных пожарами и постепенно деградирующих древостоев. Организацию рубок формирования подроста под пологом древостоев для оптимизации лесовосстановительных процессов в условиях пирогенного воздействия мы относим к актуальным мерам. Исследование восстановительных процессов в условиях пирогенного воздействия стало одной из задач, требующих неотложного решения.

Для выявления особенностей пирогенной динамики применялись методы маршрутно-рекогносцировочного обследования лесов, использовались данные лесоустройства разных лет (2001, 2011 гг.). На обследованных участках установлена интенсивность пожаров, везде пожары были устойчивые с относительно сильным прогоранием.

Пирогенная динамика лесной растительности исследована на пробных площадях, заложенных с использованием требований известного отраслевого стандарта (ОСТ 56–69–83),

на участках с разной интенсивностью и давностью прогорания [15–17]. Сукцессионные ряды моделировались на основе указаний об исследовании хода роста древостоев [2, 18, 19], а также с учетом опубликованных методологических положений об изучении лесных сукцессий [3, 4, 12]. В полевых исследованиях участвовали преподаватели, ассистенты и аспиранты кафедры таксации и экономики лесной отрасли факультета лесного хозяйства и экологии Казанского государственного аграрного университета.

Результаты и обсуждение

Лесной фонд Республики Татарстан в целом характеризуется относительно высокой доступностью большинства лесных угодий. Выровненный рельеф обеспечивает возможность прокладки дорог лесохозяйственного и противопожарного назначения, проведения лесоохранных мероприятий, оперативное выявление возгораний и относительно быстрое тушение лесных пожаров. Эффективность борьбы с лесными пожарами связана с хорошей организацией работы гослесохраны и всей лесной отрасли в регионе.

Пробные площади были заложены в Столбищенском участковом лесничестве, входящем в состав Пригородного лесничества Министерства лесного хозяйства Республики Татарстан в 2016 г. Выбранные для обследования участки были пройдены устойчивым низовым пожаром в 2010 г. До пожара, по данным лесосоустройства 2001 г., на участках произрастали культуры сосны. После пожара, по данным лесосоустройства 2011 г., древостой сосны были сильно повреждены и массово усыхали (табл. 1).

На всех обследованных участках тип леса определен как сосняк сложный кустарниковый (СК), тип лесорастительных условий — свежая суборь (С2).

После пожара распад соснового древостоя затянулся на несколько лет (2010–2015 гг.), в течение которых на участках появился довольно густой подлесок и подрост. На период закладки пробных площадей (2016) остатки допозарного древостоя практически не сохранились. Распад древостоя, поврежденного пожаром, был отслежен с использованием преимущественно материалов лесосоустройства (см. табл. 1).

На космическом фотоснимке 2008 г. (рис. 1) видно, что в местах последующей закладки пробных площадей произрастали высокополнотные сосняки. На снимке 2016 г. (рис. 2) наблюдается повреждение участков пожарами, в частности, хорошо заметно изреживание древостоев и явное снижение полноты. Участок,

Т а б л и ц а 1

Таксационные показатели на участках, по данным лесосоустройства 2001 и 2011 гг.

Taxation indicators for the areas, according to forest management data for 2001 and 2011

Показатель	Пробная площадь № 1	Пробная площадь № 2
Лесосоустройство, 2001 (подрост отсутствует подлесок редкий)		
Квартал	67	68
Выдел	1	10
Площадь выдела, га	1,6	7,9
Породный состав	10С+Б	9С1Б
Возраст, лет	31	32
Средняя высота, м	13,0	14,0
Средний диаметр ствола, см	14,0	18,0
Полнота относительная	0,8	0,7
Запас, м ³ /га	150,0	160,0
Лесосоустройство, 2011 (подрост отсутствует подлесок редкий)		
Квартал	67	68
Выдел	3	11
Площадь выдела, га	1,8	8,0
Породный состав	8С2Б	6С4Б
Возраст, лет	41	42
Средняя высота, м	16,0	17,0
Средний диаметр ствола, см	18,0	20,0
Полнота относительная	0,4	0,3
Запас, м ³ /га	60,0	50,0

наиболее сильно поврежденный пожаром 2010 г., выделен пунктирной линией на космическом фотоснимке, в центре рис. 1 и 2. Кроме того, на рис. 2 указано месторасположение описываемых нами пробных площадей. Район закладки пробных площадей находится примерно в 1,0...1,5 км на северо-восток от поселка Тарлаши. Хорошо заметны участки лесного фонда, а также пахотные угодья, принадлежащие различным сельхозформированиям.

Вид на сухостой в 2012 г. с западной стороны (от поселка Тарлаши) в районе закладки пробной площади № 2, представлен на рис. 3. На гари заметен сухостой сосны с березой, отдельные деревья сохраняют жизнеспособность, выступая источником семян для естественного возобновления из самосева, в том числе на заброшенной пашне (на переднем плане фото).

Вид того же места в 2016 г. представлен на рис. 4. На фото хорошо заметна полная гибель допозарного древостоя и почти полный распад

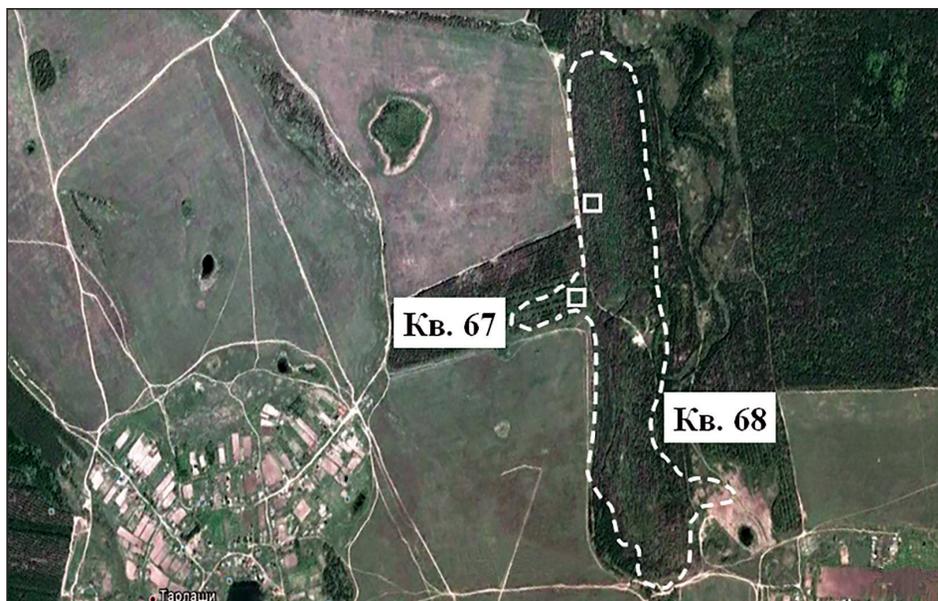


Рис. 1. Древостои сосняков кустарниковых в кварталах № 67, 68 Столбищенского участкового лесничества до пожара 2010 г.

Fig. 1. Shrub pine forests in blocks No. 67, 68 of the Stolbishchensky district forestry before the fire of 2010



Рис. 2. Расположение пробных площадей № 1, 2 в кварталах № 67, 68 Столбищенского участкового лесничества после пожара 2010 г.

Fig. 2. Location of sample plots No. 1, 2 in blocks No. 67, 68 of the Stolbishchensky district forestry after the fire of 2010

сухостоя образовавшегося вследствие пожара 2010 г. На переднем плане виден процесс формирования молодняка сосны с участием березы на месте заброшенной пашни. Под пологом быстро распадающегося сухостоя создаются условия, благоприятствующие ускоренному росту мягколиственных древесных пород и кустарников, преимущественно березы и малины. Формирование молодняка березы сопровождается

вытеснением экземпляров светолюбивой сосны, слабоустойчивой к затенению.

Особенности формирования подроста исследовались на учетных площадках в пределах пробных площадей (табл. 2, 3). Результаты перечета подроста, имеющегося на пробных площадях (см. табл. 2, 3), приведены по общепринятым в лесной таксации категориям крупности. В составе заметно существенное участие



Рис. 3. Сухостой сосны на гари 2010 года в 2012 г. Вид на гать с западной стороны (фото 2012 г.). На переднем плане слева пахотные угодья, зарастающие сосной

Fig. 3. Dead pine trees on the burnt area of 2010 in 2012. View of the burnt area from the western side (photo from 2012). In the foreground on the left are arable lands covered with pine



Рис. 4. Остатки сухостоя на гари 2010 г. в 2016 г. Вид на гать с западной стороны (фото 2016 г.). На переднем плане слева молодняк сосны на заброшенной пашне

Fig. 4. Remains of dead wood on the 2010 burnt area in 2016. View of the burnt area from the west (photo 2016). In the foreground on the left is a young pine forest on an abandoned arable land

мелкого подроста сосны наряду с относительно большим количеством среднего и крупного подроста мягколиственных пород березы, осины, тополя, ивы. Учитывая сложившийся породный

состав, и распределение подроста по категориям крупности, а также высокую энергию роста мягколиственных пород и известное светолюбие сосны обыкновенной, можно ожидать подавле-

Т а б л и ц а 2

Перечет подроста на пробной площади № 1 (2016)
Young growth inventory on sample plot No. 1 (2016)

Номер учетной площадки	Площадь учетной площадки, м ²	Размеры подроста	Количество подроста по лесообразующим породам, шт.					
			Сосна	Береза	Осина	Тополь	Клен	Ива
1	25	Мелкий	15	–	–	–	–	–
		Средний	–	10	–	–	–	–
		Крупный	–	2	4	2	–	2
2	25	Мелкий	17	–	–	–	–	–
		Средний	–	15	–	–	1	–
		Крупный	–	3	5	1	5	3
3	25	Мелкий	14	1	–	–	–	–
		Средний	–	10	–	–	–	–
		Крупный	–	2	2	–	5	1
4	25	Мелкий	10	1	–	–	–	–
		Средний	–	10	–	–	–	–
		Крупный	–	–	4	–	1	–
Итого на 100 м ²		Мелкий	56	2	–	–	–	–
		Средний	–	45	–	–	8	–
		Крупный	–	7	15	3	11	6
Итого на 1 га — 15300 шт.			5600	5400	1500	300	1900	600

Т а б л и ц а 3

Перечет подроста на пробной площади № 2 (2016)
Young growth inventory on sample plot No. 2 (2016)

Номер учетной площадки	Площадь учетной площадки, м ²	Размеры подроста	Количество подроста по лесообразующим породам, шт.					
			Сосна	Береза	Осина	Тополь	Клен	Ива
1	25	Мелкий	1	–	–	–	–	–
		Средний	–	6	–	–	2	–
		Крупный	–	5	4	2	3	1
2	25	Мелкий	2	–	–	–	–	–
		Средний	–	7	–	–	3	–
		Крупный	–	4	3	2	1	3
3	25	Мелкий	2	–	–	–	–	–
		Средний	–	5	–	–	2	–
		Крупный	–	4	3	4	1	2
4	25	Мелкий	1	–	–	–	–	–
		Средний	–	5	–	–	1	–
		Крупный	–	5	5	2	2	2
Итого на 100 м ²		Мелкий	6	–	–	–	–	–
		Средний	–	23	–	–	9	–
		Крупный	–	18	15	10	7	7
Итого на 1 га — 9500 шт.			600	4100	1500	1000	1600	700

ние сосны со стороны разрастающихся березы и осины. В ближайшие 1–2 десятилетия мы прогнозируем полное выпадение из состава имеющегося лесного сообщества сосны, затем ивы и формирование осиново-березового древостоя с подчиненным пологом, состоящим преимущественно из клена.

Ожидаемое выпадение из состава формируемого сообщества сосны мы считаем неблагоприятной сменой или крайне негативной тенденцией лесовосстановительного процесса и считаем целесообразным принять меры по сохранению имеющегося подроста сосны. Необходимо проведение рубок ухода за сосной как

Т а б л и ц а 4

Перечет подлеска на пробной площадке № 1 (2016)
Young growth inventory on sample plot No. 1 (2016)

Номер учетной площадки	Площадь учетной площадки, м ²	Виды подлесочных растений				
		Малина	Бересклет	Лещина	Жимолость	Бузина
1	25	4	2	–	1	–
2	25	5	–	1	–	–
3	25	3	1	–	–	1
4	25	1	–	–	–	–
Итого на 100 м ²		13	3	1	1	1
Итого на 1 га		1300	300	100	100	100

Т а б л и ц а 5

Перечет подлеска на пробной площадке № 2 (2016)
Young growth inventory on sample plot No. 2 (2016)

Номер учетной площадки	Площадь учетной площадки, м ²	Виды подлесочных растений				
		Малина	Бересклет	Лещина	Жимолость	Бузина
1	25	5	2	–	1	–
2	25	3	3	–	1	–
3	25	5	1	1	–	–
4	25	6	1	–	–	1
Итого на 100 м ²		19	7	1	–	1
Итого на 1 га		1900	700	100	200	100

за главной породой, с интенсивной вырубкой мягколиственных пород, а также кустарников.

Учетный подрост (см. табл. 2, 3) — это фактически уже молодняк, формирующийся вместо деградированного допожарного древостоя. Методика обследования подростка, использованная в данном случае, позволила выявить распределение учетных молодых деревьев по категориям крупности. Распределение по категориям крупности и знание особенностей роста и развития молодых деревьев учетных пород позволяет прогнозировать дальнейшее интенсивное разрастание березы, осины, тополя и ивы наряду с дальнейшим подавлением роста сосен, вплоть до практически полного выпадения пока присутствующей сосны из состава рассматриваемых лесных сообществ. Рассмотренная и прогнозируемая здесь динамика лесных сообществ вполне обычна для постпирогенной динамики лесов.

Для сохранения относительно ценного подростка сосны и предотвращения наблюдаемой неблагоприятной смены сосны на осину и березу в данном случае необходимо своевременное и интенсивное проведение рубок ухода за сосной с выборкой ивы, тополя, осины и березы, а также вырубкой лесного подлеска, интенсивно разрастающегося на всех рассматриваемых участках.

Результаты перечета подлеска представлены в табл. 4, 5. В целом подлесок густой и довольно разнообразный, его дальнейшее разрастание создает неблагоприятные условия для произрастания сосны. Вырубка подлеска наряду с относительно малоценными мягколиственными породами, есть обязательное условие сохранения в формируемом лесном сообществе такой светлюбивой породы как сосна. Для пирогенных лесонасаждений на рассматриваемых участках считаем актуальным проведение рубок формирования ценного подростка при сохранении материнского древостоя, равно как и уход за ценными лесообразующими породами в молодняках после гибели этого (допожарного) древостоя.

Развитие подлеска (см. табл. 4, 5) связано с усыханием допожарного древостоя. В дальнейшем подлесок будет постепенно подавляться в формирующемся молодняке разрастающимися деревьями мягколиственных пород. На период закладки пробных площадей (2016) имеющийся подлесок и разрастающийся молодняк мягколиственных пород активно подавляют рост молодняка относительно ценных пород, таких как сосна. Причина гибели сосен в формирующемся молодняке пирогенного происхождения, как уже отмечалось выше, заключается в подавлении сосен разрастающимися (и быстрора-

стущими) мягколиственными породами (березой и осиной), в связи с чем их проектируемая вырубка необходима для сохранения сосен и предотвращения неблагоприятной смены.

Рубки формирования подроста под материнским пологом с последующим формированием молодняка после деградации этого полога возможны при относительно высокой интенсивности организации и ведения лесного хозяйствования. Республика Татарстан в значительной степени соответствует требованиям дальнейшей интенсификации лесного дела.

Допожарный древостой на рассматриваемых нами участках не сохранился, что для условий Татарстана не характерно, в большинстве случаев повреждение лесов низовыми пожарами приводит к гибели отдельных деревьев с сохранением допожарного материнского древостоя, где целесообразно проведение рубок формирования подроста. В случае с лесонасаждениями на наших пробных площадях необходимо проведение рубок ухода в молодняках в целях предотвращения неблагоприятной смены и сохранения сосны в составе формирующихся древостоев, желательно в качестве главной породы.

Антропогенное вмешательство в лесообразовательные процессы обширных регионов ведет к повсеместному разрушению коренной растительности, одновременно запуская процессы лесовосстановления. Лесовосстановительные процессы в условиях масштабного и постоянного разрушения лесной биоты часто носят длительный и незавершенный характер. Широкое распространение получают неблагоприятные смены, затягивающие восстановление условно-коренных лесов. Интенсивное использование лесных ресурсов должно компенсироваться не менее интенсивным антропогенным воздействием, направленным на оптимизацию повсеместно идущих процессов лесовосстановления. Необходимо внедрение научно обоснованных мероприятий, способствующих более эффективному лесовосстановлению и лесоразведению в современных условиях лесного хозяйствования.

Для практики лесного хозяйствования в Республике Татарстан и во многих других хорошо освоенных регионах становится вполне обычной своевременная организация борьбы с возгораниями в лесном фонде. Поврежденные огнем лесные участки слабо учитываются лесоустройством как гари, в том числе по причине слабого повреждения растительности и быстрого зарастания подростом последующего происхождения. Практическое отсутствие категории «гарь» не исключает наличия пирогенной

лесной растительности и пирогенной динамики лесов, требующей соответствующего внимания исследователей.

Пирогенная динамика лесов имеет свои отличительные особенности. В лесах, пройденных пожарами, практически полностью погибает подрост предварительного происхождения, деградирует допожарный древостой, часто формируются условия, способствующие появлению разнообразного подроста и подлеска последующего происхождения. Процессы, идущие в послепожарном подросте или молодняке зачастую не соответствуют представлениям о благоприятном восстановлении лесов. Для послепожарной растительности обычно разрастание мягколиственных пород, подавление роста и развития ценных хвойных и твердолиственных пород, что приводит к неблагоприятным сменам породного состава в формирующихся молодых лесных сообществах.

На участках, пройденных лесными пожарами разной интенсивности появление последующего подроста или молодняка зависит от источников семян. На рассматриваемых нами участках отмечено значительное количество мелких экземпляров сосны, появившейся из самосева, благодаря сохраняющим жизнеспособность деревьям сосны материнского полога. Аналогичные процессы хорошего возобновления ели часто отмечаются в местах свежих гарей и массового усыхания ельников [4, 7]. Дальнейшая судьба подроста ценных пород складывается по-разному. В условиях южной тайги и хвойно-широколиственных лесов с усложнением породного состава усиливаются конкурентные взаимоотношения, ведущие к подавлению роста и развития хвойных и твердолиственных пород со стороны быстрорастущих мягколиственных пород, отмечаются неблагоприятные смены породного состава. В таких случаях уход за подростом или молодняками, проведение рубок формирования породного состава и оптимизацию процессов лесовосстановления следует признать актуальными задачами лесного хозяйства.

Формируемые на первых этапах пирогенных сукцессий лесные сообщества часто содержат в своем составе значительное количество проростков, всходов относительно ценных лесообразующих пород, хвойных и твердолиственных, сохранение которого входит в задачи лесного хозяйства [20–22]. В Татарстане распространены культуры сосны, благодаря чему самосев данной породы обычен на первых этапах зарастания заброшенных сельхозугодий, на вырубках и гарях [22–24]. Этот ценный подрост в последующем часто подавляется раз-

растающимися травами, кустарниками и мягколиственными породами [25, 26]. Сохранение хвойного или твердолиственного компонента в подросте, а в дальнейшем и в древостоях пирогенного происхождения требует проведения рубок ухода (осветления), по формированию благонадежного подростка ценных пород под пологом материнского древостоя, проведения целевых рубок «формирования подростка» и молодняков [26–28].

Своевременное выявление возгораний в лесном фонде способствует эффективной борьбе с лесными пожарами. В данной связи считаем целесообразным использование современных аэрокосмических технологий, космических снимков леса, организацию авиапатрулирования лесов с привлечением беспилотных летательных аппаратов для оперативного выявления случаев возгорания лесов.

Несмотря на практическое отсутствие такой категории земель, как «гари», в лесном фонде Татарстана присутствуют участки лесной растительности, в разной степени поврежденные лесными пожарами, и находящимися на разных стадиях послепожарного лесовосстановления [29, 30, 31]. Для исследования лесовосстановительных процессов необходимо моделирование лесных смен, сукцессионных или динамических рядов [32]. Лесонасаждения, формирующиеся в условиях существенного пирогенного воздействия, в ходе очередного лесоустройства следует отмечать как «леса пирогенного происхождения», назначая в них соответствующие мероприятия.

Практически все леса можно представить как этапы возрастных и восстановительных смен [33]. Накопленная лесоустройством большая база данных или таксационных описаний, практически вся может быть использована при моделировании смен, идущих в современных лесах, с построением различного рода сукцессионных рядов [34–36]. Важнейшим условием данной работы будет классификация выявленных лесных смен по их результатам (коротко-восстановительные, длительно-восстановительные необратимые и иные смены в лесах).

Проектирование и выполнение лесохозяйственных мероприятий следует постоянно корректировать, повышая интенсивность ведения лесного хозяйства, в зависимости от интенсификации лесопользования, а также в зависимости от успешности лесовосстановления и современных тенденций лесообразовательного процесса, выявленных по итогам изучения сукцессионных (восстановительно-возрастных) рядов в лесах, в том числе в лесах пирогенного происхождения.

Выводы

Восстановительные сукцессии в условиях пирогенного разрушения лесной биоты, приобретают экзогенный характер и существенно отличаются от восстановительных смен, наблюдаемых в устойчивых коренных лесах. С утратой лесами устойчивости и восстанавливаемости в исходно-коренное состояние, лесовосстановительные процессы приобретают незавершенный характер, а лесообразующие породы проявляют свойства, соответствующие измененным условиям природной среды.

На всех обследованных участках, в условиях сильного прогорания, установлена полная деградация допозарного древостоя и существовавшего подростка предварительного происхождения. На первом этапе пирогенных восстановительных сукцессий, под пологом деградирующих древостоев, формируется подрост последующего (послепожарного) происхождения, с высокой долей участия сосны. На последующих этапах лесных сукцессий отмечено формирование молодняка, с полным выпадением сосны и неблагоприятной сменой породного состава, где господство переходит к березе, также другим мягколиственным породам. Сохранение сосны в составе формирующегося молодняка связано с вырубкой мягколиственных пород, угнетающих рост сосны.

Для условий Татарстана впервые предлагается проводить рубки формирования подростка, с последующим уходом за молодняками, их осветлением и формированием оптимального породного состава пирогенных лесонасаждений. Данное предложение находится в соответствии с результатами исследования пирогенных лесных сукцессий различных регионов России.

Совершенствование выборочных рубок, способствующих оптимизации породного состава подростка или молодняков пирогенного и иного происхождения будет способствовать дальнейшей интенсификации лесного хозяйства, а также повышению эффективности выращивания лесов. Воздействие на лесовосстановительные процессы имеет определенные перспективы успешного внедрения в хозяйственно освоенных и лесодефицитных регионах, таких как Республика Татарстан.

Список литературы

- [1] Глушко С.Г. Информационная составляющая лесных биогеосистем. Казань: Бриг, 2020. 144 с.
- [2] Анучин Н.П. Лесная таксация. М.: Лесная промышленность, 1982. 552 с.

- [3] Комарова Т.А. К вопросу о закономерностях вторичных сукцессий в лесах Южного Сихотэ-Алиня // Динамические процессы в лесах Дальнего Востока. Владивосток: Изд-во ДВНЦ АН СССР, 1984. С. 21–36.
- [4] Комарова Т.А., Прохоренко Н.Б., Глушко С.Г., Терехина Н.В. Послепожарные сукцессии в лесах Сихотэ-Алиня с участием *Pinus koraiensis* Siebold et Zucc. Методологические положения и методические подходы в их изучении. СПб.: Свое издательство, 2017. 402 с.
- [5] Сукачев В.Н. Растительные сообщества (Введение в фитосоциологию). Л; М.: Книга, 1928. 232 с.
- [6] Колесников Б.П. Генетический этап в лесной типологии и его задачи // Лесоведение, 1974. № 2. С. 3–20.
- [7] Куренцова Г.Э. Естественные и антропогенные смены растительности Приморья и Южного Приамурья. Новосибирск: Наука, 1973. 230 с.
- [8] Мелехов И.С. Лесная типология. М.: МЛТИ, 1976. 73 с.
- [9] Гаянов А.Г. Леса и лесное хозяйство Татарстана. Казань: Идел-Пресс, 2001. 235 с.
- [10] Курнаев С.Ф. Лесорастительное районирование подзоны южной тайги и хвойно-широколиственных лесов европейской части СССР. М.: МЛТИ, 1958. 22 с.
- [11] Prokhorenko N.B., Komarova T.A., Glushko S.G. Postpyrogenic Successions in Oak–Korean Pine Schisandra–Hazel Forests in Sikhote-Alin // Contemporary Problems of Ecology, 2024, v. 17, no. 7, pp. 1042–1054. DOI 10.1134/S1995425524700781
- [12] Комарова Т.А., Жабько Е.В. Сравнительная оценка экологической толерантности лесных растений в разных регионах Дальнего Востока // Экология, 2011. № 5. С. 344–350.
- [13] Сукачев В.Н. Программа и методика биогеоценотических исследований / под ред. В.Н. Сукачева, Н.В. Дылиса. М.: Наука, 1966. 334 с.
- [14] Раменский Л.Г. Введение в комплексное почвенно-геоботаническое исследование земель. М.: Сельхозгиз, 1938. 620 с.
- [15] Работнов Т.А. Фитоценология. М.: Изд-во МГУ, 1992. 352 с.
- [16] Сочава В.Б. Растительные сообщества и динамика природных систем // Доклады Института географии Сибири и Дальнего Востока, 1968. Вып. 20. С. 12–22.
- [17] Яковлев А.С., Яковлев И.А. Дубравы Среднего Поволжья. Йошкар-Ола: Изд-во Марийского ГТУ, 1999. 351 с.
- [18] Теринов Н.Н., Андреева Е.М., Залесов С.В., Луганский Н.А., Магасумова А.Г. Восстановление еловых лесов: теория, отечественный опыт и методы решения // ИзВУЗ Лесной журнал, 2020. № 3. С. 9–23.
- [19] Лепехин А.А., Чеканышкин А.С. Рост и жизнеспособность дуба черешчатого в изреженных рубками ухода насаждениях // ИзВУЗ Лесной журнал, 2018. № 6. С. 70–77.
- [20] Grimme J.P. Plant strategies and vegetation processes, 1979, 222 p.
- [21] Добрынин А.П. Дубовые леса Российского Дальнего Востока (биология, география, происхождения) // Труды Ботанических садов ДВО РАН. Т. 3. Владивосток: Дальнаука, 2000. 260 с.
- [22] Greene D.F., Johnson E.A. Tree recruitment from burn edges // Canadian J. Forest Research, 2000, v. 30, no. 8, pp. 1264–1274.
- [23] Комарова Т.А., Сибирица Л.А., Ли Д.К., Кан Х.С. Демутационные сукцессии после пожаров в лиано-во-разнукстарниковых широколиственно-кедровых лесах Южного Сихотэ-Алиня // Лесоведение, 2008. № 4. С. 10–19.
- [24] Комарова Т.А., Терехина Н.В., Орехова Т.П. Покой жизнеспособных семян в почве и их прорастание после пожаров в широколиственно-кедровых лесах Южного Сихотэ-Алиня // Ботанический журнал, 2021. Т. 106. № 3. С. 255–271.
- [25] Clewell A.F., Aronson J. Ecological Restoration: Principles, Values, and Structure of an Emerging Profession. Ecological Restoration, Second Edition. Island Press, 1718 Connecticut Avenue NW, Suite 300, Washington, DC 20009, 2013, 303 p.
- [26] Минниханов Р.Н., Мусин Х.Г., Гафиятов Р.Х., Гибадуллин Н.Ф. Система воспроизводства и лесопользования в малолесных регионах Среднего Поволжья // Лесоведение, 2020. № 1. С. 55–63.
- [27] Ковалев А.П., Орлов А.М., Лашина Е.В., Грищенко Ю.А. Состояние и перспективы использования лесных ресурсов Приморского края // Сибирский лесной журнал, 2019. № 5. С. 15–21.
- [28] Мельник П.Г., Вронская А.М. Динамика видовой и возрастной структуры лесного фонда Никольской лесной дачи // Леса Евразии — леса Поволжья: Материалы XVII Междунар. конф. молодых ученых, посвященной 150-летию со дня рождения проф. Г.Ф. Морозова, 95-летию Казанского государственного аграрного университета и Году экологии в России, Казань, 22–28 октября 2017 г. М.: Маска, 2017. С. 82–84.
- [29] Мухаметшина А.Р., Шайхразиев Ш.Ш. Изучение состояния ельников Республики Татарстан // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства, 2019. № 2. С. 71–79.
- [30] Sultanova R., Martynova M., Konashova S. Cutting practices in mature stands of *Tilia cordata* Mill // Central European Forestry J., 2020, v. 66, no. 3, pp. 151–158.
- [31] Гаврилова О.И., Грязькин А.В. Особенности самовозобновления сосны на гари // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 3. С. 69–74. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-3-69-74
- [32] Krestov P.V., Korznikov K.A., Kislov D.E. Profound Changes in Terrestrial Ecosystems in Russia in the 21st Century // Herald of the Russian Academy of Sciences, 2020, v. 90, no. 3, pp. 291–297.
- [33] Kuuluvainen T., Lindberg H., Vanha-Majamaa I., Keto-Tokoi P., Punttila P. Low-level retention forestry, certification, and biodiversity: case Finland. Ecological Processes, 2019, no.8, p. 47.
- [34] Ульданова Р.А., Сабиров А.Т. Продуктивность дубовых насаждений прибрежных территорий реки Волги // Российский журнал прикладной экологии, 2021. № 3(27). С. 11–22.
- [35] Пуряев А.С., Зарипов И.Н., Петров В.А. Дубравы Среднего Поволжья: состояние, воспроизводство и сохранение // Лесохозяйственная информация, 2019. № 3. С. 190–198.
- [36] Johnstone J.F., Chapin F.S. Effects of soil burn severity on post-fire tree recruitment in boreal forest // Ecosystems, 2006, no. 9(1), pp. 14–31.

Сведения об авторах

Мирсияпов Наиль Ильясович — ассистент, ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», Nail.86@mail.ru

Глушко Сергей Геннадьевич  — канд. с.-х. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», glushkosg@mail.ru

Сингатуллин Ирек Кирамович — канд. с.-х. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», betula2@mail.ru

Иванов Борис Литта — канд. техн. наук, декан факультета лесного хозяйства и экологии, доцент кафедры лесоводства и лесных культур, ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», littab@mail.ru

Поступила в редакцию 04.06.2025.

Одобрено после рецензирования 22.07.2025.

Принята к публикации 21.08.2025.

PYROGENIC DYNAMICS OF FORESTS IN TATARSTAN REPUBLIC

N.I. Mirsiyapov, S.G. Glushko , I.K. Singatullin, B.L. Ivanov

Kazan State Agrarian University, 25, K. Marx st., 420015, Kazan, Russia

glushkosg@mail.ru

Significant changes occurring in the forest stands in many developed regions of the Tatarstan Republic are stated. It is concluded that indigenous forest communities are replaced by derivative ones, with a predominance of pioneer and serial plant species. The incomplete nature of the reforestation place in the surveyed forests was revealed. The author's interpretation of the factors determining the predominance of derivative forest communities and the incomplete nature of regeneration shifts in modern forests is presented. Attention is drawn to the instability of modern, so-called sustainable-derived forest communities. The results of a study of forest successions are proposed for consideration. It is proposed to classify forest successions with observed restoration of primary and conditionally primary forests as typical restoration ones. In cases where the restoration of indigenous communities cannot be predicted and is delayed indefinitely, these forest successions are proposed to be characterized as sustainable-restorative. Age succession is common in primary forests. Typical restoration successions occur in short-term or long-term forests with corresponding short-regeneration and long-regeneration successions. Sustainable-regenerative successions are characteristic of sustainable-derived forests. Irreversibly derived forests with irreversible successions require further study. We consider it relevant to further stereomatize forest successions based on the observed results and prospects of forest restoration processes.

Keywords: forest successions, reforestation, sustainability, derivative forests

Suggested citation: Mirsiyapov N.I., Glushko S.G., Singatullin I.K., Ivanov B.L. *Pirogennaya dinamika lesov v usloviyakh Respubliki Tatarstan* [Pyrogenic dynamics of forests in Tatarstan Republic]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2025, vol. 29, no. 5, pp. 22–34. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-5-22-34

References

- [1] Glushko S.G. *Informacionnaya sostavlyayushchaya lesnyh biogeosistem* [Information component of forest biogeosystems]. Kazan': Brig, 2020, 144 p.
- [2] Anuchin N.P. *Lesnaya taksatsiya* [Forest taxation]. Moscow: Lesnaya prom-st' [Forest industry], 1982, 552 p.
- [3] Komarova T.A. *K voprosu o zakonomernostyakh vtorichnykh suksessiy v lesakh Yuzhnogo Sikhote-Alinya* [On the patterns of secondary successions in the forests of the South Sikhote-Alin]. *Dinamicheskie protsessy v lesakh Dal'nego Vostoka* [Dynamic processes in the forests of the Far East]. Vladivostok: Far Eastern Scientific Center, Academy of Sciences of the USSR, 1984, pp. 21–36.
- [4] Komarova T.A., Prokhorenko N.B., Glushko S.G., Terekhina N.V. *Poslepozharnye suksessii v lesakh Sikhote-Alinya s uchastiem Pinus koraiensis Siebold et Zucc. Metodologicheskie polozeniya i metodicheskie podkhody v ikh izuchenii* [Post-fire successions in the Sikhote-Alin forests with the participation of *Pinus koraiensis* Siebold et Zucc. Methodological provisions and methodological approaches in their study]. St. Petersburg: My Publishing House, 2017, 402 p.

- [5] Sukachev V.N. *Rastitelnye soobshestva (Vvedenie v fitosociologiyu)* [Plant communities (Introduction to phytosociology)]. Leningrad–Moscow: Book, 1928, 232 p.
- [6] Kolesnikov B.P. *Geneticheskiy etap v lesnoy tipologii i ego zadachi* [The genetic stage in the forest typology and its tasks]. Russian J. Forest Science, 1974, no. 2, pp. 3–20.
- [7] Kurentsova G.E. *Estestvennye i antropogennye smeny rastitelnosti Primorya i yuzhnogo Priamurya*. [Natural and anthropogenic changes in vegetation of Primorye and southern Amur region]. Novosibirsk: Nauka, 1973, 230 p.
- [8] Melekhov I.S. *Lesnaya tipologiya*. [Forest typology]. Moscow: MLTI, 1976, 73 p.
- [9] Gayanov A.G. *Lesy i lesnoye khozyaystvo Tatarstana*. [Forests and forestry of Tatarstan]. Kazan: Idel-Press, 2001, 235 p.
- [10] Kurnaev S.F. *Lesorastitel'noe rayonirovanie podzony yuzhnoy taygi i khvoynno-shirokolistvennykh lesov evropeyskoy chasti SSSR* [Forest-growing zoning of the subzone of the southern taiga and coniferous-deciduous forests of the European part of the USSR]. Moscow: MLTI, 1958, 22 p.
- [11] Prokhorenko N.B., Komarova T.A., Glushko S.G. Postpyrogenic Successions in Oak–Korean Pine Schisandra–Hazel Forests in Sikhote-Alin. *Contemporary Problems of Ecology*, 2024, v. 17, no. 7, pp. 1042–1054. DOI 10.1134/S1995425524700781
- [12] Komarova T.A., Zhabyko E.V. *Sravnitel'nay ocenka ekologicheskoy tolerantnosti lesnykh rasteniy v raznykh regionakh Dal'nego Vostoka* [Comparative assessment of ecological tolerance of forest plants in different regions of the Far East]. *Ekologiya*, 2011, no. 5, pp. 344–350.
- [13] Sukachev V.N. *Programma i metodika biogeotsenologicheskikh issledovaniy* [Program and methodology of biogeocenological studies]. Eds. V.N. Sukachev, N.V. Dyslis. Moscow: Nauka, 1966, 334 p.
- [14] Ramenskiy L.G. *Vvedenie v kompleksnoe pochvenno-geobotanicheskoe issledovanie zemel* [Introduction to a comprehensive soil-geobotanical study of land]. Moscow: Selkhozgiz, 1938, 620 p.
- [15] Rabortnov T.A. *Fitotsenologiya* [Phytocenology]. Moscow: Publishing House of Moscow State University, 1992, 352 p.
- [16] Sochava V.B. *Rastitelnye soobshestva i dinamika prirodnih sistem* [Plant communities and the dynamics of natural systems]. *Dokl. instituta geografii Sibiri i Dalnego Vostoka* [Doc. Institute of Geography of Siberia and the Far East], 1968, iss. 20, pp. 12–22.
- [17] Yakovlev A.S., Yakovlev I.A. *Dubravyy Srednego Povolzh'ya* [Oaklands of the Middle Volga]. Yoshkar-Ola: Mari State Technical University, 1999, 351 p.
- [18] Terinov N.N., Andreeva E.M., Zalesov S.V., Luganskiy N.A., Magasumova A.G. *Vosstanovlenie elovykh lesov: teoriya, otechestvennyy opyt i metody resheniya* [Restoration of Spruce Forests: Theory, National Practice and Problem Solving]. *Russian Forestry J.*, 2020, no. 3, pp. 9–23.
- [19] Lepyohin A.A., Chekanyshkin A.S. *Rost i zhiznesposobnost' duba chereschatogo v izrezhennykh rubkami uhoda nasazhdeniyakh* [Growth and Vitality of English Oak in Plantations after Improvement Thinning]. *Russian Forestry J.*, 2018, no. 6, pp. 70–77.
- [20] Grimme J.P. Plant strategies and vegetation processes, 1979, 222 p.
- [21] Dobrynin A.P. *Dubovyye lesa Rossiyskogo Dal'nego Vostoka (biologiya, geografiya, proiskhozhdeniya)* [Oak forests of the Russian Far East (biology, geography, origin)]. *Tr. Botan. sadov DVO RAN. T. 3.* [Proceedings of the Botanical Gardens of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, v. 3]. Vladivostok: Dalnauka, 2000, 260 p.
- [22] Greene D.F., Johnson E.A. Tree recruitment from burn edges. *Canadian J. Forest Research*, 2000, v. 30, no. 8, pp. 1264–1274.
- [23] Komarova T.A., Sibirina L.A., Lee D.K., Kan H.S. *Demutacionnyye sukcessii posle pozharov v lianovo-raznokustarnikovyykh shirokolistvenno-kedrovyykh lesakh Yuzhnogo Sikhote-Alinya* [Demutational successions after fires in liana-shrub broadleaf-cedar forests of the Southern Sikhote-Alin]. *Forest Science*, 2008, no. 4, pp. 10–19.
- [24] Komarova T.A., Terekhova N.V., Orekhova T.P. *Demutacionnyye sukcessii posle pozharov v lianovo-raznokustarnikovyykh shirokolistvenno-kedrovyykh lesakh Yuzhnogo Sikhote-Alinya* [Dormancy of viable seeds in the soil and their germination after fires in broadleaf-cedar forests of the Southern Sikhote-Alin]. *Botanical J.*, 2021, v. 106, no. 3, pp. 255–271.
- [25] Clewell A.F., Aronson J. *Ecological Restoration: Principles, Values, and Structure of an Emerging Profession*. Ecological Restoration, Second Edition. Island Press, 1718 Connecticut Avenue NW, Suite 300, Washington, DC 20009, 2013, 303 p.
- [26] Minnikhanov R.N., Musin K.G., Gafiyatov R.K., Gibadullin N.F. *Sistema vosproizvodstva i lesopol'zovaniya v malolesnykh regionakh Srednego Povolzh'ya* [System of reproduction and forest management in sparsely forested regions of the Middle Volga region]. *Forestry*, 2020, no. 1, pp. 55–63.
- [27] Kovalev A.P., Orlov A.M., Lashina E.V., Grishchenova Yu.A. *Sostoyaniye i perspektivy ispol'zovaniya lesnykh resursov Primorskogo kraya* [Status and prospects of forest resources use in Primorsky Krai]. *Siberian Forestry J.*, 2019, no. 5, pp. 15–21.
- [28] Melnik P.G., Vronskaya A.M. *Dinamika vidovoy i vozrastnoy struktury lesnogo fonda Nikol'skoy lesnoy dachi* [The dynamics of the species and age structure of the forest fund of the Nikolskaya forest dacha]. *Lesy Evrazii — lesy Povolzh'ya: Materialy XVII Mezhdunar. konf. molodykh uchenykh, posvyashchennoy 150-letiyu so dnya rozhdeniya prof. G.F. Morozova, 95-letiyu Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta i Godu ekologii v Rossii, Kazan, 22–28 oktyabrya 2017 g.* [Forests of Eurasia — Forests of the Volga Region: Materials of the XVII International Conf.] Moscow: Maska, 2017, pp. 82–84.
- [29] Mukhametshina A.R., Shaikhraziev S.S. *Izuchenie sostoyaniya el'nikov Respubliki Tatarstan* [Study of the state of spruce forests in the Republic of Tatarstan]. *Proceedings of the St. Petersburg Research Institute of Forestry*, 2019, no. 2, pp. 71–79.
- [30] Sultanova R., Martynova M., Konashova S. Cutting practices in mature stands of *Tilia cordata* Mill. *Central European Forestry J.*, 2020, v. 66, no. 3, pp. 151–158.
- [31] Gavrilova O.I., Gryazkin A.V. *Osobennosti samovozobnovleniya sosny na gari* [Pine selfregeneration in burnt forest area]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 3, pp. 69–74. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-3-69-74

- [32] Krestov P.V., Korznikov K.A., Kislov D.E. *Glubokie izmeneniya nazemnykh ekosistem Rossii v XXI veke* [Profound Changes in Terrestrial Ecosystems in Russia in the 21st Century]. Herald of the Russian Academy of Sciences, 2020, v. 90, no. 3, pp. 291–297.
- [33] Kuuluvainen T., Lindberg H., Vanha-Majamaa I., Keto-Tokoi P., Punttila P. Low-level retention forestry, certification, and biodiversity: case Finland. *Ecological Processes*, 2019, no.8, p. 47.
- [34] Uldanova R.A., Sabirov A.T. *Produktivnost' dubovykh nasazhdeniy pribrezhnykh territoriy reki Volgi* [Productivity of oak plantations in the coastal areas of the Volga River]. *Russian J. of Applied Ecology*, 2021, no. 3(27), pp. 11–22.
- [35] Puryaev A.S., Zaripov I.N., Petrov V.A. *Dubravyy Srednego Povolzh'ya: sostoyaniye, vosproizvodstvo i sohraneniye* [Oak groves of the Middle Volga region: condition, reproduction and preservation]. *Forestry information*, 2019, no. 3, pp. 190–198.
- [36] Johnstone J.F., Chapin F.S. Effects of soil burn severity on post-fire tree recruitment in boreal forest // *Ecosystems*, 2006, no. 9(1), pp. 14–31.

Authors' information

Mirsiyapov Nail' Il'yasovich — Assistant of the Kazan State Agrarian University, Nail.86@mail.ru
Glushko Sergey Gennad'evich  — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Kazan State Agrarian University, glushkosg@mail.ru
Singatullin Irek Kiramovich — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Kazan State Agrarian University, betula2@mail.ru
Ivanov Boris Litta — Cand. Sci. (Technical), Associate Professor of the Kazan State Agrarian University, littab@mail.ru

Received 04.06.2025.

Approved after review 22.07.2025.

Accepted for publication 21.08.2025.

Вклад авторов: все авторы в равной доле участвовали в написании статьи
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article
The authors declare that there is no conflict of interest

ПРЕДИКТОРЫ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ ВОДОРАЗДЕЛЬНО-ЗАНДРОВЫХ ТИПОВ МЕСТНОСТИ ВОРОНЕЖСКОЙ НАГОРНОЙ ДУБРАВЫ

Е.Н. Тихонова✉, Г.А. Одноралов, Э.И. Трещевская,
Н.Н. Харченко, И.В. Голядкина

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова» (ВГЛТУ),
Россия, 394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 8

tichonova-9@mail.ru

Приведены результаты исследования трофогенного потенциала почвообразующих пород и почв водораздельно-зандровых типов местности Воронежской нагорной дубравы — неотъемлемого компонента лесопарковой зоны г. Воронежа. Установлено, что исходные почвообразующие породы исследуемых типов местности на 96 % состоят в основном из среднезернистого песка, при этом на долю песчаного алеврита приходится 64,2, а физической глины — 2,7 кг/м². Показано, что в тяжелой фракции флювиогляциальных песков водораздельно-зандрового типа местности преобладают минералы, устойчивые к физико-химическому выветриванию. Общее содержание минералов тяжелых фракций составляет 0,11 %, или 1,1 кг на 1 т породы. Выявлено, что культуры сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), созданные на водно-ледниковых среднечетвертичных песках, за 70 лет синтезировали 91,6 т/га органического вещества, что соответствует 962·106 кДж/га энергии. Определено, что в результате процесса лесного почвообразования за этот же период в песчаном местообитании содержание физической глины возросло в корнеобитаемом двухметровом слое с 2,7 до 36,7 кг/м². Показано, что искусственно созданная ландшафтная экосистема, накопившая в живом и мертвом органическом веществе потенциально активную энергию, биофильные химические элементы, постепенно создает гумусовый аккумулятивный горизонт почвенного покрова. Депонирование углерода в двухметровой корнеобитаемой толще составляет 28,3 т/га. Установлено, что искусственные лесные ландшафты водораздельно-зандровых типов местности лесостепи обладают очень низким лесорастительным потенциалом и близки к опасности разрушения.

Ключевые слова: Центральная лесостепь, Воронежская нагорная дубрава, сосна обыкновенная, пески флювиогляциальные, зандрово-водораздельные ландшафты

Ссылка для цитирования: Тихонова Е.Н., Одноралов Г.А., Трещевская Э.И., Харченко Н.Н., Голядкина И.В. Предикторы биологической продуктивности водораздельно-зандровых типов местности Воронежской нагорной дубравы // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2025. Т. 29. № 5. С. 35–47.
DOI: 10.18698/2542-1468-2025-5-35-47

Средообразующая роль леса по мере сокращения его площади становится все очевиднее. Мировое индустриальное развитие все больше загрязняет окружающую среду парниковыми газами, что, по мнению многих исследователей, является главной причиной потепления климата на планете со всеми вытекающими катастрофическими последствиями [1–3]. Для того чтобы снизить риски негативного воздействия, следует вывести из углеродного цикла избыток диоксида углерода в атмосфере и аккумулировать его в биомассе, увеличив биологическую продуктивность экосистем, и в первую очередь леса [4–6].

Исходя из того, что предиктором биологической продуктивности или интенсивности синтеза органического вещества лесных насаждений является, прежде всего, трофогенный потенциал почвообразующих пород и почв необходимо более детальное исследование литогенной и педогенной основы ландшафта [7–9].

Цель работы

Цель работы — выявление лесорастительных возможностей литогенного компонента водораздельно-зандровых типов местности Воронежской нагорной дубравы и определение органической массы, продуцированной насаждениями, и емкости карбонового депо в пределах исследуемой территории.

Объекты и методы исследования

Для достижения поставленной цели были последовательно решены следующие задачи: проведено почвенное лесотипологическое исследование с составлением почвенной карты и карты типов леса. Изучен лесорастительный потенциал почвообразующих пород и почв, определены размеры почвенного поглощающего комплекса и степень насыщенности основаниями. Определена емкость углеродного депо во всех основных типах леса и на всей исследованной площади.

Объектом исследования служила лесопарковая часть Воронежской нагорной дубравы, входящая в состав зеленой зоны города, площадью 592 га (кварталы 46–55 Правобережного лесничества ВГЛТУ). С запада объект ограничивает трасса Воронеж — Москва, с севера — разделительная просека (кварталы 44–45), с юга — городская застройка.

Согласно физико-географическому районированию Центрально-Черноземной области исследуемая территория находится в пределах Окско-Донского плоскоместья в подзоне типичной лесостепи в левобережном придолинно-террасовом районе [10–11]. Климатические условия — умеренно-континентальные. Годовая амплитуда температур — около 30 °С, суммарная солнечная радиация — 378 кДж/см². Средняя годовая температура воздуха составляет +5,5 °С, средняя температура июля и января составляет соответственно +19,5 °С и –10,5 °С. Средняя годовая сумма осадков 544 мм. Тип водного режима периодически промывной. Коэффициент увлажнения — 0,75...1,20.

В литологическом отношении водораздел представлен отложениями водно-ледниковых потоков среднечетвертичного отдела плейстоцена. Цоколем ему служат плиоценовые глины (верхний неоген), перекрытые свитой серых крупнозернистых флювиогляциальных кварцевых песков мощностью до 20 м с эрратическими валунами у основания. Формирование этой свиты связано с днепровским оледенением. Над ней залегают свита супесей, песков, суглинков и глин, часто с ржаво-охристыми и зеленовато-синими пятнами. Встречаются и погребенные почвы. Накопление осадков происходило здесь в одинцовское межледниковье, в начале московского оледенения [12, 13]. Коллоидные системы глин подверглись тиксотропным изменениям и сильно деформировались, образуя в стенке разрезов причудливые формы. Общая мощность этой свиты — около 10 м. В результате таяния московского ледника сформировалась следующая свита средне-

мелкозернистых кварцевых песков, также с прослойками суглинков, мощностью до 7 м. Все эти отложения оформлены в виде Воронежского оза — единственного памятника ледниковой эпохи, запечатленной в рельефе области. Склоны водораздела прорезаны крупными балками, разделяющими оз на ландшафтные группы, покрытые делювиальными отложениями.

Таким образом, в формировании лесных ландшафтов объекта исследований участвуют породы, образующие комплексы из чередующихся прослоек песков, супесей, алевроитов, глин. Поэтому верхняя часть почвенного профиля может быть песчаной или супесчаной, в средней части суглинистой, а в нижней — вновь песчаной. Часты случаи, когда песчаная толща подстилается на глубине 1,5...2,0 м тяжелыми суглинками. Такая гетеролитность ландшафта существенно влияет на взаимодействие между горными породами и лесными насаждениями. В почвообразовательном процессе здесь не отдельные слои, а весь флиш. Кроме того, все отложения, формирующие водораздел, являются дериватами кислых пород Балтийского щита. Все это придает уникальность и своеобразие Воронежской нагорной дубраве. В границах объекта выделяется три типа местности: водораздельно-зандровый, плакорный и склоновый.

Для характеристики почв и изучения связи их с производительностью насаждений были выполнены следующие работы:

- определено содержание гумуса по методу Тюрина в модификации Центрального научно-исследовательского института агрохимического обслуживания сельского хозяйства (ЦИНАО) по ГОСТ 26213–91;

- рН солевой вытяжки потенциметрически по ГОСТ 26483–85;

- гидролитическая кислотность по Каппену в модификации ЦИНАО по ГОСТ 26212–2021;

- обменные кальций и магний по Гедройцу трилонометрически по ГОСТ 26487–85;

- подвижный фосфор и калий по Чирикову в модификации ЦИНАО по ГОСТ 26204–91;

- азот общий по Кьельдалю по ГОСТ 26107–84;

- гранулометрический состав пипеточным методом по ГОСТ 12536–2014.

Отбор почвенных проб по генетическим горизонтантам в соответствии с ГОСТ 17.14.3.01–83. Минералогические и спектральные анализы были выполнены в химической лаборатории геологической экспедиции [14].

При производстве работ заложено 40 шурфов глубиной 2,0 м (основной корнеобитаемый слой) и послойно отобраны пробы почв. Возле каждого разреза были заложены проб-

ные площади (0,25 га) с определением средней высоты, диаметра ствола и возраста главной лесообразующей породы. Исследованы модельные деревья сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) с определением массы хвои, мелких и крупных ветвей, стволов и корней во всех ярусах насаждений, травяном покрове и лесной подстилке [15]. В работе приведена масса органического вещества, высушенная при 105 °С. Более подробно использованные нами методики описаны ранее в работах [7, 16].

Результаты и обсуждение

Многолетние исследования убеждают нас в том, что связи между продуктивностью леса и почвенными параметрами следует искать не на самом высоком таксационном уровне (тип или подтип почв), а на самом низком (генезис и состав материнских пород). Так, пески представлены в основном обломками кварца, в котором концентрации всех химических элементов, кроме кремния, очень низкие. В глинистых же минералах, слагающих фракцию частиц размером меньше 0,001 мм, повышена концентрация многих элементов. Кроме того, высокая дисперсность глинистых минералов способствует адсорбции ими ионов из окружающего раствора, формированию почвенного поглощающего комплекса, увеличению емкости биологического круговорота веществ и, соответственно, определяет состав и продуктивность лесных насаждений.

Таким образом, тип леса и запас создаваемой им биомассы зависят главным образом от количества глины, накопленной в местообитании (почва + материнская порода + кора выветривания). В связи с этим нами опубликована шкала лесорастительных возможностей литогенных компонентов ландшафта, по которой можно оценить перспективы роста и развития конкретного биоценоза [17]. Разработанные нами градации показывают, что, к примеру, сосна обыкновенная, типичный олиготроф, может найти себе место обитания в ландшафте, сложенном кварцевым песком с примесью глины до 100 кг/м² в двухметровой корнеобитаемой толще. И чем ближе, в конкретном случае, этот показатель к верхнему пределу трофности для данного типа лесорастительных условий, тем больше запас прочности у насаждения. Переход в следующий диапазон содержания частиц физической глины (100...250 кг/м²) увеличивает бонитет сосновых культур и обеспечивает возможность произрастания широколиственных пород пониженных бонитетов. Сравнивая с этими данными результаты конкретных исследу-

ований типов местности можно оценивать запасы прочности произрастающих насаждений, перспективы их развития и прогнозировать будущее состояние конкретного участка биосферы.

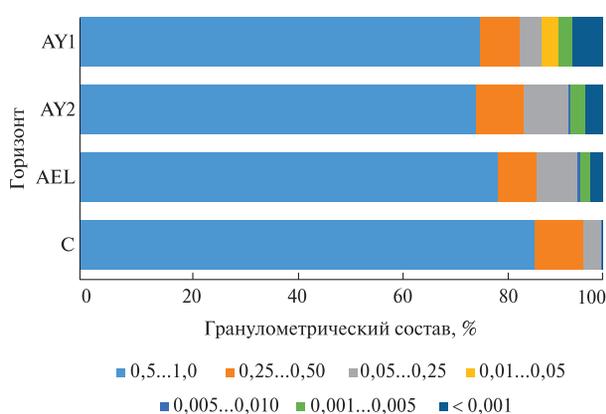
Водораздельно-зандровый тип местности покрыт бором свежим травяным, сформировавшимся на рыхлых флювиогляциальных песках междуречья Дон — Воронеж. Тип лесорастительных условий А₂ [18, 19]. Общая площадь типа леса составляет 23 % (или 136 га) обследованной лесной площади. В составе насаждений лесные культуры сосны обыкновенной. Формула древостоя — 10С + ед. Д, Б, Ос. Бонитет главной породы II–III. Возраст 67 лет, средняя высота 17 м, средний диаметр ствола 22 см, полнота 0,4. Среднее количество деревьев 408 шт./га. В редком подлеске произрастают бересклет бородавчатый (*Euonymus verrucosus* Scop.), ракитник русский (*Chamaecytisus ruthenicus* Fisch. ex Wolf.). В травяном покрове встречаются ястребинка зонтичная (*Hieracium umbellatum* L.), горная петрушка (*Angelica oreoselinum* (L.) M. Hiroe), герань кроваво-красная (*Geranium sanguineum* L.), сон-трава (*Pulsatilla* Mill.), Иван-да-Марья (*Melampyrum nemorosum* L.), золотая розга (*Solidago virgaurea* L.). По данным бурения, грунтовая вода находится на глубине 5,0 м. Почвенно-литологическое строение данного типа местности приводится по описанию разреза 630, заложенного в кв. 48 Правобережного лесничества ВГЛТУ (табл. 1).

В «Классификации и диагностике почв СССР» данному строению почвенного профиля соответствует светло-серая лесная среднемощная связнопесчаная на флювиогляциальных рыхлых песках (рисунок) [20]. Исследуемые почвы могут быть отнесены к серым типичным среднемощным малогумусированным песчаным на древнеаллювиальных песках [21]. В соответствии с мировой базой почвенных ресурсов (WRB, 2024) исследуемые почвы относятся к *haplic Luvisols* [22].

Анализ гранулометрического состава и массы гранулометрических фракций по генетическим горизонтам показывает, что почвообразующая порода на 96 % состоит из песка, в основном среднезернистого (табл. 2). На долю песчаного алеврита (0,05...0,01 мм) приходится 64,2 кг, а физической глины — всего лишь 2,7 кг. Разумеется, такое количество тонкодисперсной части не может обеспечить произрастание естественного леса, поэтому здесь сформировались сухие песчаные степи с низким проективным покрытием и слабой армирующей способностью корневых систем.

Строение почвенного профиля серых типичных почв
Soil profile structure of Haplic Luvisols

Горизонт	Границы, см	Мощность, см	Описание
О	0...2	2	Растительный опад разной степени разложения
AУ1	2...13	11	Серый, свежий, связнопесчаный, непрочно-комковатый, рыхлый, много корней, переход постепенный
AУ2	13...23	10	Серый, с буроватым оттенком, свежий, рыхлопесчаный, бесструктурный, встречаются корни, переход постепенный
AEL	23...83	60	Буровато-серый, свежий, рыхлопесчаный, бесструктурный, встречаются отдельные корни, переход постепенный
С	83...203	140	Желтовато-серый, влажный, песчаный, рыхлый, бесструктурный



Гранулометрический состав серых типичных почв
The particle size distribution in Haplic Luvisols

Для закрепления песков и увеличения биомассы зандровых ландшафтов были созданы культуры сосны, сформировавшие обмен веществ и биологический круговорот в новом антропогенном ландшафте, что и дало импульс для начала лесного почвообразовательного процесса. Аналогичные посадки сосны обыкновенной проводились на территории всей лесостепной зоны в конце XIX, в начале и середине XX в. в ходе реализации государственных программ по лесовосстановлению и лесоразведению [23]. В настоящее время участки сосновых насаждений Воронежской нагорной дубравы выполняют защитную и рекреационную функции.

В результате синергетики между органической и минеральной частями ландшафта ускоряются гипергенные процессы и синтез коллоидов, происходит миграция и аккумуляция вещества и энергии, обособляются гумусовый и иллювиальный почвенные горизонты. В них, как видно из табл. 2, происходит заметное накопление глины, формируется почвенный поглощающий комплекс (ППК), изменяется и

сам их состав. Если в породе глинистая часть представлена только мелкопылеватой предколлоидной фракцией (0,005...0,001 мм), то в почвенных горизонтах — илом (менее 0,001 мм). Эта часть почв наиболее активна, поэтому участвует во всех физико-химических обменных процессах.

В результате почвообразования за 70 лет в песчаном местообитании содержание глины возросло в двухметровом слое с 2,7 до 36,7 кг/м². При этом надо отметить, что именно верхний двухметровый слой является основным корнеобитаемым слоем для сосновых насаждений [24]. Сравнение этого показателя со шкалой лесорастительного потенциала [17] показывает, что продукционные возможности рассматриваемого местообитания ниже средних, что подтверждается данными минералогических исследований (табл. 3).

В тяжелой фракции флювиогляциальных песков преобладают минералы, устойчивые к физико-химическому выветриванию, о чем свидетельствует их прозрачность. К ним относятся ставролит-дистено-рутиловые ассоциации с турмалином, силлиманитом и гранатом. Среди неустойчивых к выветриванию в незначительных количествах присутствуют амфиболы, эпидот.

Главным минералом легкой фракции является устойчивой к выветриванию кварц, содержание которого приближается к 100 %. Его зерна слабо- и среднеокатанные, прозрачные. Общее содержание тяжелой фракции составляет 0,11 %, или 1,1 кг на 1 т породы, и, если учесть, что участвовать в биологическом круговороте могут лишь химические элементы, высвобождающиеся из неустойчивых к выветриванию минералов, а их меньше половины, то очевидно, что их роль в почвообразовании крайне ограничена. Термический анализ глинистых частиц меньше 0,005 мм показал, что

Т а б л и ц а 2

Масса гранулометрических фракций серых типичных почв
Mass of different particle-size fractions in Haplic Luvisols

Горизонт	Глубина залегания, см	Масса горизонта, кг/м ²	Плотность, кг/м ³	Запасы гумуса, кг/м ²	Масса гранулометрических фракций, кг/м ²						
					1...0,25	0,25...0,05	0,05...0,01	0,01...0,005	0,005...0,001	<0,001	<0,01
AY1	11	149,6	1,36	3,95	122,1	11,8	6,6	5,1	–	4,0	9,1
AY2	20	125,1	1,39	0,32	98,0	12,3	10,6	–	0,35	3,8	4,1
AEL	80	834,4	1,39	0,42	686,2	60,4	66,6	–	6,7	14,1	20,8
C	200	1946,7	1,39	0,19	1696,1	183,0	64,2	–	2,7	–	2,7

они состоят, в основном, из гидромусковита, серицита и гидрослюд. В качестве примесей отмечается присутствие органического вещества, полевого шпата, опала. Все гидрослюды являются переходным звеном между слюдами и каолинитом.

Оценив лесорастительные возможности водно-ледниковых песков на территории Воронежской нагорной дубравы, рассмотрим состояние культур сосны, сформировавших боровые условия лесопроизрастания (табл. 4).

Исследования показали, что насаждения сосны одновозрастной за 67 лет синтезировали 91,6 т/га органического вещества, что делает данные ландшафты схожими с ландшафтами лесотундры или северной мерзлотной тайги, которые формируют фитомассу в 100 т/га [25–27].

Кроме этого показателя продуктивности леса существует еще один, характеризующий годовой прирост растительности, в данном случае 4,0 т/га.

Третий показатель — опад, т. е. количество ежегодно отмирающего растительного материала, по ранее опубликованным нами данным, составляет 1,67 т/га [28]. Количество органического вещества, заключенного в опаде и годовом приросте, характеризует синтез и разрушение растительного вещества в течение года. Отношение опада к фитомассе показывает, насколько прочно данный тип насаждения удерживает органическое вещество в ландшафте. Исследования показывают, что в задровых борах междуречья Дон — Воронеж на опад расходуется всего только 1,8 %, тогда как в таежных лесах он варьирует от 2 до 4 %, а в дубравах и того меньше — 1,5 % [16, 29].

Итак, культуры сосны, созданные на водно-ледниковых среднечетвертичных песках, за 70 лет синтезировали всего лишь 91,6 т/га органического вещества. В его структуре домини-

Т а б л и ц а 3

Минеральный состав тяжелой фракции флювиогляциальных песков водораздельно-зандрового типа местности (%)
Mineral composition of the heavy fraction of the fluvio-glacial sands of watershed and outwash plain terrains (%)

Минерал	Содержание, %
Рутил	11
Сфен	<1
Циркон	16
Моноцит	–
Дистен	21
Ставролит	14
Турмалин	12
Силлиманит	15
Андалузит	–
Эпидот	1
Роговая обманка	3
Гранат	6

рует надземная масса и, прежде всего, стволы и крупные ветви, которые на длительное время удерживают в себе вещество и связанную с ним энергию [30–32].

Образовавшийся таким образом лесной ландшафт может существовать только при условии постоянного массообмена между геохимически активным живым веществом и инертным веществом почвообразующих горных пород. Для выполнения подобной работы система должна быть обеспечена энергией. Величина используемой энергии зависит от уровня организации системы: чем она поликомпонентнее, чем сложнее и совершеннее связи внутри нее, тем система устойчивее, биологически продуктивнее и энергетически выгоднее.

Т а б л и ц а 4

Величина органической массы соснового древостоя, т/га
Organic mass value of pine stands, t/ha

Элемент древостоя	Масса надземных органов					Масса корней			Общая масса
	Хвоя (листья)	Ветви		Ствол	Всего	Мелкие	Крупные	Всего	
		мелкие	крупные						
Сосна	3,3	2,1	4,5	51,0	60,9	1,9	22,1	24,0	84,9
Подлесок (раkitник, бересклет)	0,6	0,7	–	1,9	3,2	0,9	–	0,9	4,1
Лесная подстилка	–								1,4
Травы	–								1,2
Общая биомасса насаждения	–								91,6

Т а б л и ц а 5

Химически активная энергия, аккумулированная в насаждении сосны 70-летнего возраста
Chemically active energy accumulated in the 70-year-old pine stands

Элемент древостоя		Запасы энергии, заключенной в фитомассе надземных органов ($\eta \cdot 10^6$)					Запасы энергии, заключенной в фитомассе корней ($\eta \cdot 10^6$)			Общий запас
		Хвоя (листья)	Ветви		Ствол	Всего	Мелкие	Крупные	Всего	
			мелкие	крупные						
Сосна	ккал/га	8,25	5,23	11,25	12,75	152,25	4,75	55,25	60,0	212,25
	кДж	34,65	22,0	47,25	318,75	639,45	19,95	232,05	252,0	891,45
Подлесок (раkitник, бересклет)	ккал/га	1,5	1,75	–	4,75	8,0	2,25	–	2,25	10,25
	кДж	6,3	7,35	–	19,95	25,2	9,45	–	9,45	43,05
Лесная подстилка	ккал/га	–	–	–	–	–	–	–	–	3,5
	кДж	–	–	–	–	–	–	–	–	14,7
Травы	ккал/га	–	–	–	–	–	–	–	–	3,0
	кДж	–	–	–	–	–	–	–	–	12,7

О количестве накопленной сосновым насаждением энергии можно судить по данным, приведенным в табл. 5.

Низкая энергообеспеченность, бедность неорганической части ландшафта, разновозрастный и однопорodный состав насаждений, малое количество участвующих в работе системы компонентов, малая комплексность связанных между собой организмов, слабое соответствие среде обитания вызывают постепенную деградацию сосны. В работе [33] также отмечена зависимость устойчивости сосняков в сухой степи от почвенно-гидрологических условий, определяемых сочетанием механического состава почвогрунтов и уровня залегания грунтовых вод.

Практически за 70 лет своего существования бор свежий травяной, сформированный на зандровых песках, аккумулировал в своей фитомассе $962 \cdot 10^6$ кДж/га энергии, из которой на ежегодный прирост расходуется

до $42 \cdot 10^6$ кДж/га, возвращается в ландшафт с опадом $16,8 \cdot 10^6$ кДж/га и расходуется на минерализацию лесной подстилки $15 \cdot 10^6$ кДж/га. Основная часть химически активной энергии все же зафиксирована в стволовой части насаждения. В целом биоэнергетика, увеличиваясь вместе с ростом и развитием насаждений, формирует соответствующий данному ландшафту характер обмена веществ, запускает биологический круговорот, био- и геохимические процессы, формирует почву.

Таким образом, искусственно созданная ландшафтная экосистема, накопившая в живом и мертвом органическом веществе потенциально активную энергию, биофильные химические элементы (С, N, P, K, Ca и др.), постепенно создает гумусовый аккумулятивный горизонт почвенного покрова (табл. 6).

Результаты исследований показывают, что в результате синергии живой и неживой материи сформировалась биокосная энергетическая

Т а б л и ц а 6

Химический состав серых типичных почв
The chemical composition of Haplic Luvisols

Горизонт	Глубина залегания горизонта, см	Мощность, см	Масса, кг/м ²	Гумус		Углерод		Азот		C:N	Фосфор	Калий
				кг/м ²	%	кг/м ²	%	кг/м ²	%			
AY1	11	11	149,5	3,95	2,65	2,3	1,53	0,19	0,13	12	0,042	0,04
AY2	20	10	125,1	0,32	0,26	0,19	0,15	0,01	0,01	15	0,08	0,03
AEL	80	60	833,8	0,42	0,06	0,25	0,03	0,07	0,008	4	0,52	0,30
C	200	140	2042,8	0,19	0,01	0,09	0,005	–	–	–	–	–

Т а б л и ц а 7

Физико-химические показатели местообитания бора травяного на флювиогляциальных песках
Physico-chemical indicators of the pine forest on fluvio-glacial sands

Горизонт	pH (KCl)	Содержание, мг/экв на 100 г почвы					Емкость катионного обмена	Степень насыщенности основаниями, %
		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Σ Ca ⁺⁺ + Mg ⁺⁺	H ⁺ (гидр.)			
AY1	4,1	0,30	0,20	0,50	1,46	1,96	26	
AY2	4,4	0,70	0,15	0,85	1,28	2,13	40	
AEL	4,3	0,25	0,10	0,35	1,13	1,48	24	
C	4,7	н. д.	н. д.	н. д.	0,36	н. д.	н. д.	

система, в верхнем перегнойно-аккумулятивном горизонте которой накопилось 3,95 кг/м² гумуса, конденсировавшего 84·10⁶ кДж/га кинетической энергии. Во всей остальной двухметровой корнеобитаемой толще в рассеянном состоянии находится еще 0,93 кг/м² органического вещества или 18,9·10⁶ кДж/га химически активной энергии.

В составе гумуса основная доля приходится на углерод (57,7 %). Его количество в верхнем слое составляет 2,3 кг/м², а во всем профиле углерода депонировано 2,84 кг/м², или 28,4 т/га. Соотношение между массой углерода и азота в составе гумуса свидетельствует о его гуматной природе.

Содержание подвижных фосфора и калия свидетельствует о чрезвычайно низкой их концентрации в почвенном растворе и слабой обеспеченности леса основными элементами питания. Общая картина лесорастительного потенциала местообитания водораздельно-зандрового типа местности будет неполная, если не рассмотреть физико-химические показатели данных почв (табл. 7).

При рассмотрении гранулометрического состава литогенной части ландшафта, нами было отмечено очень низкое содержание физической глины (меньше 0,01 мм) в почвообразующих породах и на полное отсутствие в ней илистой

и коллоидной составляющих (меньше 0,001 мм). А именно эта часть ответственна за обменные процессы в ППК. Отмечалось также, что в процессе почвообразования при взаимодействии леса и породы в результате биологического круговорота происходит некоторое накопление тонкодисперсных частиц и формирование начального почвенного профиля по иллювиальному типу.

Результаты исследования показывают, что ППК не насыщен основаниями. Степень насыщенности почв по профилю варьирует от 24 до 40 %. Сумма обменных Ca⁺⁺ и Mg⁺⁺ не выше 0,85 мг/экв на 100 г почвы, а в емкости катионного обмена доминирует водород гидролитической кислотности. Содержание катиона кальция в 1 т породы составляет всего лишь 70 г, а магния — 16 г. Таким образом, подводя итог оценки лесорастительных возможностей водораздельно-зандровых ландшафтов следует отметить, что даже в таких условиях они в состоянии депонировать 28,3 т/га углерода в двухметровой корнеобитаемой толще. Кроме того, биологический компонент единой экосистемы, именуемой бором травяным свежим на рыхлых флювиогляциальных песках водораздела, в результате газообмена и адсорбции диоксида углерода поглощает и удерживает углерод в фитомассе в некотором количестве (табл. 8). При расчетах содержания углерода применяли

**Углерод, депонированный фитомассой сосновых насаждений
водораздельно-зандровых типов местности (т/га)**
Carbon deposited by the pine forest of watershed and outwash plain terrains (t/ha)

Элемент древостоя	Запасы углерода в фитомассе надземных органов					Запасы углерода в фитомассе корней ($\eta \cdot 10^6$)			Общий запас
	Хвоя (листья)	Ветви		Ствол	Всего	Мелкие	Крупные	Всего	
		мелкие	крупные						
Сосна	1,5	0,9	2,25	25,5	30,15	0,95	11,1	12,0	42,2
Подлесок (раkitник, бересклет)	0,3	0,3	–	0,95	1,55	0,45	–	–	2,0
Лесная подстилка	–								0,8
Лесной опад	–								0,7
Травы	–								0,54
Прирост	–								2,0
Общий запас в насаждении	–								48,2

конверсионные коэффициенты, рекомендуемые в Национальном докладе о кадастре антропогенных выбросов парниковых газов из источников и их абсорбции поглотителями за 1990–2022 гг. [34]

Данные табл. 8 показывают, что 1 га изреженного соснового насаждения удерживает 48,2 т углерода, что является достаточно невысоким показателем. Так, по оценкам запасов углерода в лесах России на основе данных первого цикла государственной инвентаризации лесов, средний запас углерода в фитомассе лесостепной зоны составляет $71,2 \pm 1,8$ т/га [35]. Если сравнить пул органического углерода в растительной биомассе соснового насаждения, то он в 1,7 раза выше, чем в двухметровой корнеобитаемой толще дерново-подбуров. При этом необходимо учитывать, что пул органического углерода почвы значительно более стабилен по сравнению с растительной биомассой [36]. Запасы почвенного углерода в сосновых лесах, формирующихся на почвах легкого гранулометрического состава в таежных и хвойно-широколиственных лесах значительно выше, чем в лесостепной зоне. Так, в почвах сосняков Брянского полесья только в слое 0...50 см было депонировано углерода 47, а в почвах Карельского перешейка — до 116 т/га [37]. В дальнейшей работе необходимо оценить сукцессионные изменения в изучаемых типах местности Воронежской нагорной дубравы за 100-летний период роста и развития культур сосны. Важность повторных измерений в лесных экосистемах на одних и тех же пробных площадях, в том числе и с точки зрения оценки углеродного баланса, подчеркивается в работе [38].

Выводы

1. Исходные почвообразующие породы водораздельно-зандровых типов местности Воронежской нагорной дубравы на 96 % состоят из песка, в основном среднезернистого. На долю песчаного алеврита приходится 64,2 кг, а физической глины — 2,7 кг. В результате процесса лесного почвообразования за 70 лет в песчаном местообитании содержание глины возросло в корнеобитаемом двухметровом слое с 2,7 до 36,7 кг/м².

2. В тяжелой фракции флювиогляциальных песков водораздельно-зандрового типа местности преобладают минералы, устойчивые к физико-химическому выветриванию. Общее содержание минералов тяжелых фракций составляет 0,11 %, или 1,1 кг на 1 т породы.

3. Культуры сосны, созданные на водно-ледниковых среднечетвертичных песках, за 70 лет синтезировали 91,6 т/га органического вещества, что соответствует $962 \cdot 10^6$ кДж/га энергии.

4. Искусственно созданная ландшафтная экосистема, накопившая в живом и мертвом органическом веществе потенциально активную энергию, биофильные химические элементы, постепенно создает гумусовый аккумулятивный горизонт почвенного покрова. Депонирование углерода в двухметровой корнеобитаемой толще серых типичных почв составляет 28,3 т/га.

5. Искусственные лесные ландшафты водораздельно-зандровых типов местности лесостепи обладают очень низким лесорастительным потенциалом и близки к опасности разрушения. Их необходимо исследовать, проводить мониторинг и мероприятия по увеличению фитомассы, в том числе за счет увеличения подлеска.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 123102700029-3 «Биогеохимический мониторинг цикла углерода в природных и антропогенных экосистемах Воронежской области в условиях глобального изменения климата (FZUR-2023-0001)».

Список литературы

- [1] Липка О.Н., Корзухин М.Д., Замолотчиков Д.Г. Роль лесов в адаптации природных систем к изменениям климата // *Лесоведение*, 2021. № 5. С. 531–546.
- [2] Рожков В.А., Карпачевский Л.О. Лесной покров России и охрана почв // *Почвоведение*, 2006. № 10. С. 1157–1164.
- [3] Mensah S., Noulekoun F., Dimobe K., Seifert T., Glele Kakai R. Climate and Soil Effects on Tree Species Diversity and Aboveground Carbon Patterns in Semi-Arid Tree Savannas // *Sci. Rep.*, 2023, no. 13. DOI: 10.1038/s41598-023-38225-3
- [4] Замолотчиков Д.Г., Грабовский В.И., Каганов В.В. Экосистемные услуги и пространственное распределение защитных лесов Российской Федерации // *Лесоведение*, 2021. № 6. С. 581–592.
- [5] Лукина Н.В., Шанин В.Н., Тебенькова Д.Н. Почвенный углерод и экосистемные услуги лесов // *Почвы — стратегический ресурс России: Тезисы докладов VIII съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева и Школы молодых ученых по морфологии и классификации почв, Сыктывкар, 10–14 августа 2022 г.* Сыктывкар: Изд-во ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, 2021. С. 547–548.
- [6] Швиденко А.З., Щепашенко Д.Г., Кракснер Ф., Онучин А.А. Переход к устойчивому управлению лесами России: теоретико-методические предпосылки // *Сибирский лесной журнал*, 2017. № 6. С. 3–25. DOI 10.15372/SJFS2170601
- [7] Sheshnitsan S., Odnoralov G., Tikhonova E. Influence of Soil Texture on Carbon Stocks in Deciduous and Coniferous Forest Biomass in the Forest-Steppe Zone of Oka–Don Plain // *Soil Systems*, 2024, v. 8, no. 4, p. 118. DOI 10.3390/soilsystems8040118
- [8] Riestra D., Noellemeyer E., Quiroga A. Soil Texture and Forest Species Condition the Effect of Afforestation on Soil Quality Parameters // *Soil Sci.*, 2012, v. 177, pp. 279–287. DOI 10.1097/SS.0b013e318245d0fe
- [9] Li J., Nie M., Powell J.R., Bissett A., Pendall E. Soil Physico-Chemical Properties Are Critical for Predicting Carbon Storage and Nutrient Availability across Australia // *Environ. Res. Lett.*, 2020. DOI 10.1088/1748-9326/ab9f7e
- [10] Дроздов К.А. Элементарные ландшафты среднерусской лесостепи. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1991. 176 с.
- [11] Горбунов А.С., Быковская О.П. Высотная организация равнинных ландшафтов (на примере Центрального Черноземья России) // *Вестник Карагандинского университета. Серия: Биология. Медицина. География*, 2021. Т. 104. № 4. С. 122–133. DOI 10.31489/2021BMG4/122-133
- [12] Михно В.Б., Горбунов А.С., Быковская О.П. Генезис и динамика ландшафтных местностей Центрального Черноземья // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2022. № 1. С. 16–27.
- [13] Быковская О.П., Горбунов А.С., Бевз В.Н. Донское оледенение и его унаследованность в современной ландшафтной структуре Центрального Черноземья // *Пути эволюционной географии: Материалы Всерос. науч. конф., посвященной памяти профессора А.А. Величко, Москва, 23–25 ноября 2016 г.* М.: Изд-во Института географии РАН, 2016. С. 58–63.
- [14] Оdnoralov Г.А., Тихонова Е.Н., Трегубов О.В., Голядкина И.В. Литогенная основа продуктивности Воронежской нагорной дубравы // *Лесотехнический журнал*, 2017. Т. 7. № 2(26). С. 26–34.
- [15] Методические рекомендации наземной оценки количественных и качественных характеристик лесов на сети тестовых полигонов в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ» (ВИПГЗ) в части разработки системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах. М.: Рослесинфорг, 2023. 42 с.
- [16] Иркровский Э.Р., Оdnoralov Г.А. Влияние биогеогеографических зон на состояние дубовых насаждений // *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*, 2013. № 92. С. 265–275.
- [17] Оdnoralov Г.А., Тихонова Е.Н., Голядкина И.В., Малинина Т.А. Оценка биологической продуктивности лесной среды в условиях урбанизации (на примере Воронежской нагорной дубравы) // *ИзВУЗ Лесной журнал*, 2020. № 2(374). С. 60–72.
- [18] Фомин В.В., Иванова Н.С., Залесов С.В., Попов А.С., Михайлович А.П. Лесные типологии в Российской Федерации // *ИзВУЗ Лесной журнал*, 2023. № 6. С. 9–30.
- [19] Fomin V.V., Zalesov S.V., Popov A.S., Mikhailovich A.P. Historical Avenues of Research in Russian Forest Typology: Ecological, Phytocoenotic, Genetic, and Dynamic Classifications // *Can. J. For. Res.*, 2017, v. 47, pp. 849–860 DOI: 10.1139/cjfr-2017-0011
- [20] Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 223 с.
- [21] Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
- [22] Мировая реферативная база почвенных ресурсов. Междунар. система почв. классификации для диагностики почв и составления легенд почв. карт: пер. с англ. С. Форговой, науч. ред. пер. М.И. Герасимова, П.В. Красильникова. М.: МАКС ПРЕСС, 2024. 248 с. <https://doi.org/10.29003/m4174.978-5-317-07235-3>
- [23] Неведров Н.П., Саржанов Д.А., Проценко Е.П., Васенев И.И. Пространственно-временная изменчивость эмиссии CO₂ из альфегумусовых песчаных почв лесостепной зоны на примере г. Курска // *Почвоведение*, 2022. № 11. С. 1366–1377.
- [24] Diers M., Weigel R., Culmsee H., Leuschner C. Soil Carbon and Nutrient Stocks under Scots Pine Plan-

- tations in Comparison to European Beech Forests: A Paired-Plot Study across Forests with Different Management History and Precipitation Regimes // *For. Ecosyst.*, 2021, v. 8, no. 47.
DOI:10.1186/s40663-021-00330-y
- [25] Варакин Г.С., Поляков В.И., Люминарская М.А. Биологическая продуктивность сосны обыкновенной в Средней Сибири // *Лесоведение*, 2008. № 3. С. 14–19.
- [26] Исаев А.С., Коровин Г.Н., Уткин А.И., Пряжников А.А., Замолотчиков Д.Г. Оценка запасов и годичного депонирования углерода в фитомассе лесных экосистем России // *Лесоведение*, 1993. № 5. С. 3–10.
- [27] Уткин А.И., Гульбе Т.А., Гульбе Я.И. Опыт мониторинга биологической продуктивности искусственных насаждений // *Лесоведение*, 1996. № 2. С. 13–29.
- [28] Одноралов Г.А., Голядкина И.В., Тихонова Е.Н. Лесорастительный потенциал зандрово-водораздельных ландшафтов Воронежской нагорной дубравы // Биологическое разнообразие и биоресурсы степной зоны в условиях изменяющегося климата: сб. материалов Междунар. науч. конф., посвященной 95-летию Ботанического сада Южного федерального университета, Ростов-на-Дону, 24–29 мая 2022 г. Ростов-на-Дону: Изд-во Южного федерального университета, 2022. С. 703–708.
- [29] Рысин Л.П., Савельева Л.И. Сосновые леса России. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2008. 289 с.
- [30] Гульбе Я.И., Гульбе А.Я., Ермолова Л.С., Гульбе Т.А. Исследования по биологической продуктивности лесов в Институте лесоведения РАН // *Лесохозяйственная информация*, 2019. № 4. С. 7–22.
- [31] Морковина С.С., Харченко Н.Н., Шешнищан С.С., Панявина Е.А., Иванова А.В., Водолажский А.И. Эколого-экономическая оценка результативности комплекса лесохозяйственных практик в вопросах поддержания углеродного баланса // *Лесной вестник / Forestry Bulletin*, 2024. Т. 28. № 5. С. 104–117. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-5-104-117
- [32] Коротков С.А., Захаров В.П., Лежнев Д.В., Шматов И.Н. Особенности депонирования углерода лесными культурами на примере восточной части Вологодской области // *Лесной вестник / Forestry Bulletin*, 2025. Т. 29. № 3. С. 27–39. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-3-27-39
- [33] Усольцев В.А., Колтунова А.И. О биологической продуктивности и устойчивости сосны на экотоне «лесостепь» // *Степи Северной Евразии: Материалы VI Междунар. симп. и VIII Междунар. школы-семинара молодых ученых «Геоэкологические проблемы степных регионов»*, Оренбург, 18–23 июня 2012 г. Оренбург: ИПК Газпромнефть, 2012. С. 754–762.
- [34] Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых монреальским протоколом за 1990–2021 гг.: в 2 ч. Ч. 1. М.: Изд-во Института глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля, 2024. 479 с.
- [35] Филипчук А.Н., Мальшева Н.В., Золина Т.А., Селезнев А.А. Запасы углерода в фитомассе лесов России: новая количественная оценка на основе данных первого цикла государственной инвентаризации лесов // *Лесохозяйственная информация*, 2024. № 1. С. 29–55
- [36] Чернова О.В., Рыжова И.М., Подвезенная М.А. Изменение величины и структуры запасов углерода в регионах южной тайги и лесостепи Европейской России за исторический период // *Живые и биокосные системы*, 2017. № 19. DOI 10.18522/2308-9709-2017-19-2
- [37] Кузнецова А.И., Лукина Н.В., Горнов А.В. Запасы углерода в песчаных почвах сосновых лесов на западе России // *Почвоведение*, 2020. № 8. С. 959–969.
- [38] Navedrov N., Fomina M., Smitskaya G. Soil successions of Carbic Podzols (Arenic) under Scots Pine plantations in Kursk region // *Environment, Energy and Earth Sciences Web of Conferences. International Scientific Forum on Sustainable Development and Innovation (WFSDI 2021)*, 2021, v. 295. DOI 10.1051/e3sconf/202129504001

Сведения об авторах

Тихонова Елена Николаевна [✉] — канд. биол. наук, доцент, зав. кафедрой «Ландшафтная архитектура и почвоведение», ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», tichonova-9@mail.ru

Одноралов Геннадий Алексеевич — канд. биол. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», kafedra.lair@inbox.ru

Трещевская Элла Игоревна — д-р с.-х. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ehllt@yandex.ru

Харченко Николай Николаевич — д-р биол. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», forest.vrn@gmail.com

Голядкина Инна Вячеславовна — канд. с.-х. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», golyadkina@post.vgltu.ru

Поступила в редакцию 13.05.2025.

Одобрено после рецензирования 16.07.2025.

Принята к публикации 04.08.2025.

BIOLOGICAL PRODUCTIVITY PREDICTORS OF WATERSHED AND OUTWASH PLAIN TERRAINS IN VORONEZH UPHILL OAKERY

E.N. Tikhonova✉, G.A. Odnoralov, E.I. Treshevskaya, N.N. Kharchenko, I.V. Golyadkina

Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov (VSFTU), 8, Timiryazeva st., 394087, Voronezh, Russia

tikhonova-9@mail.ru

The article studies the trophogenic potential of soil-forming rocks and soils of watershed and outwash plain terrains in Voronezh upland oak forest as an integral component of the urban forested area. It was established that the original soil-forming rocks of the studied types of the terrain are composed of 96 % sand, mostly of medium grain. The share of siltstone is 64,2 kg, and silt-and-clay — 2,7 kg. As a result, forest soil formation in the sand habitat, which lasted 70 years, the amount of clay in the rooting depth layer (2 m) increased from 2,7 to 36,7 kg/m². In the heavy fraction of the fluvioglacial sands of the watershed and outwash plain terrains, minerals that are resistant to physico-chemical weathering are predominant. The total mineral content of heavy fractions is 0,11 %, or 1,1 kg per ton of rock. *Pinus silvestris* L. stands created on middle-quadernary fluvio-glacial sands synthesized 91,6 t/ha of organic matter over 70 years, which corresponds to 962 106 kJ/ha of energy. An artificially created landscape ecosystem, accumulating potentially active energy and biochemical elements in living and dead organic matter, is gradually creating a humus accumulation horizon of soil cover. Carbon deposition in the rooting depth layer is 28,3 t/ha. The artificially created forest landscapes of watershed and outwash plain terrains of forest- steppe have very low forest potential and are close to destruction, however they have fulfilled their tasks and require further research, monitoring and increasing the biomass, including increasing the undergrowth.

Keywords: Central Forest Steppe, Voronezh upland oak forest, *Pinus silvestris* L., fluvioglacial sands, watershed and outwash plain landscapes

Suggested citation: Tikhonova Ye.N., Odnoralov G.A., Treshchevskaya E.I., Kharchenko N.N., Golyadkina I.V. *Prediktory biologicheskoy produktivnosti vodorazdel'no-zandrovykh tipov mestnosti Voronezhskoy nagornoj dubravyy* [Biological productivity predictors of watershed and outwash plain terrains in Voronezh uphill oakery]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2025, vol. 29, no. 5, pp. 35–47. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-5-35-47

References

- [1] Lipka O.N., Korzukhin M.D., Zamolodchikov D.G. *Rol' lesov v adaptatsii prirodnykh sistem k izmeneniyam klimata* [The role of forests in the adaptation of natural systems to climate change]. *Lesovedeniye* [Forest Science], 2021, no. 5, pp. 531–546.
- [2] Rozhkov V.A., Karpachevskiy L.O. *Lesnoy pokrov Rossii i okhrana pochv* [Forest cover of Russia and soil protection]. *Pochvovedeniye* [Soil Science], 2006, no. 10, pp. 1157–1164.
- [3] Mensah S., Noulekoun F., Dimobe K., Seifert T., Glele Kakai R. Climate and Soil Effects on Tree Species Diversity and Aboveground Carbon Patterns in Semi-Arid Tree Savannas. *Sci. Rep.*, 2023, no. 13. DOI: 10.1038/s41598-023-38225-3
- [4] Zamolodchikov D.G., Grabovskiy V.I., Kaganov V.V. *Ekosistemnyye uslugi i prostranstvennoye raspredeleniye zashchitnykh lesov Rossiyskoy Federatsii* [Ecosystem services and spatial distribution of protective forests of the Russian Federation]. *Lesovedeniye* [Forest Science], 2021, no. 6, pp. 581–592.
- [5] Lukina N.V., Shanin V.N., Teben'kova D.N. *Pochvennyy uglevod i ekosistemnyye uslugi lesov* [Soil carbon and ecosystem services of forests]. *Pochvy — strategicheskyy resurs Rossii: Tezisy dokladov VIII s'yezda Obshchestva pochvovedov im. V.V. Dokuchayeva i Shkoly molodykh uchenykh po morfologii i klassifikatsii pochv* [Soils are a strategic resource of Russia: Abstracts of the VIII Congress of the Dokuchaev Soil Science Society and the School of Young Scientists on Soil Morphology and Classification], Syktyvkar, August 10–14, 2022. Syktyvkar: IB FRC Komi SC UB RAS, 2021, pp. 547–548.
- [6] Shvidenko A.Z., Shchepashchenko D.G., Kraksner F., Onuchin A.A. *Perekhod k ustoychivomu upravleniyu lesami Rossii: teoretiko-metodicheskiye predposylki* [Transition to sustainable forest management in Russia: theoretical and methodological prerequisites]. *Sibirskiy lesnoy zhurnal* [Siberian Forest J.], 2017, no. 6, pp. 3–25.
- [7] Sheshnitsan S., Odnoralov G., Tikhonova E. Influence of Soil Texture on Carbon Stocks in Deciduous and Coniferous Forest Biomass in the Forest-Steppe Zone of Oka–Don Plain. *Soil Systems*, 2024, v. 8, no. 4, p. 118. DOI 10.3390/soilsystems8040118
- [8] Riestra D., Noellemeyer E., Quiroga A. Soil Texture and Forest Species Condition the Effect of Afforestation on Soil Quality Parameters. *Soil Sci.*, 2012, v. 177, pp. 279–287. DOI 10.1097/SS.0b013e318245d0fe
- [9] Li J., Nie M., Powell J.R., Bissett A., Pendall E. Soil Physico-Chemical Properties Are Critical for Predicting Carbon Storage and Nutrient Availability across Australia. *Environ. Res. Lett.*, 2020. DOI 10.1088/1748-9326/ab9f7e
- [10] Drozdov K.A. *Elementarnyye landshafty srednerusskoy lesostepi* [Elementary landscapes of the middle Russian forest steppe]. Voronezh: VSU, 1991, 176 p.
- [11] Gorbunov A.S., Bykovskaya O.P. *Vysotnaya organizatsiya ravninnykh landshaftov (na primere Tsentral'nogo Chernozem'ya Rossii)* [Altitudinal organization of plain landscapes (on the example of the Central black earth region of

- Russia]. Vestnik Karagandinskogo universiteta. Seriya: Biologiya. Meditsina. Geografiya [Bulletin of the Karaganda university. Biology. Medicine. Geography series.], 2021, v. 104, no. 4, pp. 122–133. DOI 10.31489/2021BMG4/122-133
- [12] Mikhno V.B., Gorbunov A.S., Bykovskaya O.P. *Genesis i dinamika landshaftnykh mestnostey Tsentral'nogo Chernozem'ya* [Genesis and dynamics of landscape areas in the Central black soil region]. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geokologiya [Proceedings of Voronezh state university. Series: geography. geocology], 2022, no. 1, pp. 16–27. DOI 10.17308/geo.2022.1/9082
- [13] Bykovskaya O.P., Gorbunov A.S., Bezv V.N. *Donskoye oledeneniye i yego unasledovannost' v sovremennoy landshaftnoy strukture Tsentral'nogo Chernozem'ya* [Don glaciation and its inheritance in the modern landscape structure of the Central Black Earth Region]. Puti evolyutsionnoy geografii: mater. Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii posvyashchennoy pamyati professora A.A. Velichko [Paths of evolutionary geography: Proc. of the All-Russian scientific conference dedicated to the memory of Professor A.A. Velichko], Moscow, November 23–25, 2016. Moscow: Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, 2016, pp. 58–63.
- [14] Odnoralov G.A., Tikhonova Ye.N., Tregubov O.V., Golyadkina I.V. *Litogennaya osnova produktivnosti Voronezhskoy nagornoy dubravy* [Lithogene basis of productivity of Voronezh highland oak forest]. Lesotekhnicheskii zhurnal [Forestry engineering journal], 2017, v. 7, no. 2(26), pp. 26–34. DOI 10.12737/article_5967e8e01143e9.03067340
- [15] *Metodicheskiye rekomendatsii nazemnoy otsenki kolichestvennykh i kachestvennykh kharakteristik lesov na seti testovykh poligonov v ramkakh realizatsii vazhneyshego innovatsionnogo proyekta gosudarstvennogo znacheniya «Yedinaya natsional'naya sistema monitoringa klimaticheskikh aktivnykh veshchestv» (VIPGZ) v chasti razrabotki sistemy nazemnogo i distantsionnogo monitoringa pulov ugleroda i potokov parnikovyykh gazov na territorii Rossiyskoy Federatsii, sozdaniya sistemy ucheta dannykh o potokakh klimaticheskikh aktivnykh veshchestv i byudzhetе ugleroda v lesakh i drugikh nazemnykh ekologicheskikh sistemakh* [Methodological recommendations for ground-based assessment of quantitative and qualitative characteristics of forests on a network of test sites within the framework of the implementation of the most important innovative project of national importance «Unified National System for Monitoring Climate-Active Substances» (UNMSCAS) in terms of developing a system for ground-based and remote monitoring of carbon pools and greenhouse gas flows on the territory of the Russian Federation, creating a system for accounting for data on the flows of climate-active substances and the carbon budget in forests and other terrestrial ecological systems]. Moscow: Roslesinforg, 2023, 42 p.
- [16] Irkovskiy E.R., Odnoralov G.A. *Vliyaniye biogeogorizontov na sostoyaniye dubovykh nasazhdeniy* [Influence of the biogeohorizons on the condition of oak plantings]. Politematicheskii setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Polythematic online scientific journal of Kuban state agrarian university], 2013, no. 92, pp. 265–275.
- [17] Odnoralov G.A., Tikhonova Ye.N., Golyadkina I.V., Malinina T.A. *Otsenka biologicheskoy produktivnosti lesnoy sredy v usloviyakh urbanizatsii (na primere Voronezhskoy nagornoy dubravy)* [Assessment of urban forest biological productivity (case study of the Voronezh upland oak forest)]. Russian Forestry J., 2020, no. 2(374), pp. 60–72.
- [18] Fomin V.V., Ivanova N.S., Zalesov S.V., Popov A.S., Mikhaylovich A.P. *Lesnyye tipologii v Rossiyskoy Federatsii* [Forest typologies in the Russian federation]. Russian Forestry J., 2023, no. 6, pp. 9–30.
- [19] Fomin V.V., Zalesov S.V., Popov A.S., Mikhailovich A.P. *Historical Avenues of Research in Russian Forest Typology: Ecological, Phytocoenotic, Genetic, and Dynamic Classifications*. Can. J. For. Res., 2017, v. 47, pp. 849–860 DOI:10.1139/cjfr-2017-0011
- [20] *Klassifikatsiya i diagnostika pochv SSSR* [Classification and diagnostics of soils of the USSR]. Moscow: Kolos, 1977, 223 p.
- [21] Shishov L.L., Tonkonogov V.D., Lebedeva I.I., Gerasimova M.I. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii* [Classification and diagnostics of soils in Russia]. Smolensk: Oykumena, 2004, 342 p.
- [22] *Mirovaya referativnaya baza pochvennykh resursov. Mezhdunarodnaya baza sistema pochvennoy klassifikatsii dlya diagnostiki pochv i sostavleniya legend pochvennykh kart* [World abstract database of soil resources. International system of soil classification for soil diagnostics and compilation of soil map legends]. Moscow: MAKS Press, 2024, 248 p. <https://doi.org/10.29003/m4174.978-5-317-07235-3>
- [23] Nevedrov N.P., Sarzhanov D.A., Protsenko Ye.P., Vasenev I.I. *Prostranstvenno-vremennaya izmenchivost' emissii SO2 iz al'fegumusovykh peschanykh pochv lesostepnoy zony na primere g. Kurska* [Spatial and temporal dynamics of carbon dioxide emission from al-fe-humus sandy soils in the Forest-steppe zone]. Pochvovedeniye [Soil Science], 2022, no. 11, pp. 1366–1377. DOI 10.31857/S0032180X22110090
- [24] Diers M., Weigel R., Culmsee H., Leuschner C. *Soil Carbon and Nutrient Stocks under Scots Pine Plantations in Comparison to European Beech Forests: A Paired-Plot Study across Forests with Different Management History and Precipitation Regimes* // For. Ecosyst., 2021, v. 8, no. 47. DOI:10.1186/s40663-021-00330-y
- [25] Varaksin G.S., Polyakov V.I., Lyuminarskaya M.A. *Biologicheskaya produktivnost' sosny obyknovennoy v Sredney Sibiri* [Biological productivity of the common pine in Middle Siberia]. Lesovedenie [Forest Science], 2008, no. 3, pp. 14–19.
- [26] Isaev A.S., Korovin G.N., Utkin A.I., Pryazhnikov A.A., Zamolodchikov D.G. *Otsenka zapasov i godichnogo deponirovaniya ugleroda v fitomasse lesnykh ekosistem Rossii* [Assessment of carbon reserves and annual deposition in Russian forest ecosystems phytomass]. Lesovedenie [Forest Science], 1993, no. 5, pp. 3–10.
- [27] Utkin A.I., Gul'be T.A., Gul'be YA.I. *Opyt monitoringa biologicheskoy produktivnosti iskusstvennykh nasazhdeniy* [Experience in monitoring the biological productivity of artificial plantations]. Lesovedenie [Forest Science], 1996, no. 2, pp. 13–29.
- [28] Odnoralov G.A., Golyadkina I.V., Tikhonova Ye.N. *Lesorastitel'nyy potentsial zandrovo-vodorazdel'nykh landshaftov Voronezhskoy nagornoy dubravy* [Forest-growing potential of the watershed and outwash plain terrains of Voronezh Upland oak forest]. Biologicheskoye raznoobrazie i bioresursy stepnoy zony v usloviyakh izmenyayushchegosya klimata: sb. materialov Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii, posvyashchennoy 95-letiyu Botanicheskogo sada Yuzhnogo federal'nogo universiteta [Biological diversity and bioresources of the steppe zone in a changing climate: collection of materials from the International scientific conference dedicated to the 95th anniversary of the Botanical Garden of the Southern Federal University], Rostov-on-Don, May 24–29, 2022. Rostov-on-Don: Southern Federal University, 2022, pp. 703–708.

- [29] Rysin L.P., Savel'eva L.I. *Sosnovye lesa Rossii* [Russian Pine Forests]. Moscow: KMK Scientific Press, 2008, 289 p.
- [30] Gul'be YA.I., Gul'be A.YA., Yermolova L.S., Gul'be T.A. *Issledovaniya po biologicheskoy produktivnosti lesov v Institute lesovedeniya RAN* [Research on biological productivity of forests in the Institute of forest science RAS]. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya* [Forestry information], 2019, no. 4, pp. 7–22.
- [31] Morkovina S.S., Kharchenko N.N., Sheshnitsian S.S., Panyavina E.A., Ivanova A.V., Vodolazhskiy A.I. *Ekologo-ekonomicheskaya otsenka rezul'tativnosti kompleksa lesokhozyaystvennykh praktik v voprosakh podderzhaniya uglerodnogo balansa* [Ecological and economic assessment of forestry practices efficiency in maintaining carbon balance]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2024, vol. 28, no. 5, pp. 104–117. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-5-104-117
- [32] Korotkov S.A., Zakharov V.P., Lezhnev D.V., Shmatkov I.N. *Osobennosti deponirovaniya ugleroda lesnymi kul'turami na primere vostochnoy chasti Vologodskoy oblasti* [Carbon sequestration by forest crops in eastern part of Vologda region]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2025, vol. 29, no. 3, pp. 27–39. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-3-27-39
- [33] Usol'tsev V.A., Koltunova A.I. *O biologicheskoy produktivnosti i ustoychivosti sosny na ekotone «lesostep'»* [About the biological productivity and sustainability of pine on ecotone «forest steppe»]. *Stepi Severnoy Yevrazii: mater. VI Mezhdunarodnogo simpoziuma i VIII Mezhdunarodnoy shkoly-seminara molodykh uchenykh «Geoekologicheskiye problemy stepnykh regionov»* [Steppes of Northern Eurasia: Proc. of the VI International Symposium and VIII International School-Seminar for Young Scientists «Geoeological Problems of Steppe Regions»], Orenburg, June 18–23, 2012. Orenburg: IPC Gazprompechat, 2012, pp. 754–762.
- [34] *Natsional'nyy doklad o kadastre antropogennykh vybrosov iz istochnikov i absorptsii poglotitelyami parnikovyykh gazov ne reguliruyemykh monreal'skim protokolom za 1990–2021 gg.* [National report on the inventory of anthropogenic emissions from sources and removals by sinks of greenhouse gases not controlled by the Montreal Protocol for 1990–2021], in 2 parts. Part 1. Moscow: Yu. A. Izrael Institute of Global Climate and Ecology, 2024, 479 p.
- [35] Filipchuk A.N., Malysheva N.V., Zolina T.A., Seleznev A.A. *Zapasy ugleroda v fitomasse lesov Rossii: novaya kolichestvennaya otsenka na osnove dannykh pervogo tsikla gosudarstvennoy inventarizatsii lesov* [Carbon stock in living biomass of Russian forests: new quantification based on data from the first cycle of the State forest inventory]. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya* [Forestry information], 2024, no. 1, pp. 29–55.
- [36] Chernova O.V., Ryzhova I.M., Podvezennaya M.A. *Izmeneniye velichiny i struktury zapasov ugleroda v regionakh yuzhnoy taygi i lesostepi Yevropeyskoy Rossii za istoricheskiy period* [Changes of Organic Carbon Pools in the Southern Taiga and Forest-Steppe of European Russia during the Historical Period]. *Zhivyye i biokosnyye sistemy* [Live and bio-abiotic systems], 2017, no. 19. DOI 10.18522/2308-9709-2017-19-2, 2017.
- [37] Kuznetsova A.I., Lukina N.V., Gornov A.V. *Zapasy ugleroda v peschanykh pochvakh sosnovyykh lesov na zapade Rossii* [Carbon Stock in Sandy Soils of Pine Forests in the West of Russia]. *Pochvovedeniye* [Soil Science], 2020, no. 8, pp. 959–969.
- [38] Navedrov N., Fomina M., Smitskaya G. Soil successions of Carbic Podzols (Arenic) under Scots Pine plantations in Kursk region. *Environment, Energy and Earth Sciences Web of Conferences. International Scientific Forum on Sustainable Development and Innovation (WFSDI 2021)*, 2021, v. 295. DOI 10.1051/e3sconf/202129504001

Publication was prepared as part of the State Assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation 123102700029-3 «Biogeochemical monitoring of carbon cycle in natural and anthropogenic ecosystems of the Voronezh region under conditions of global climate change (FZUR-2023-0001)».

Authors' information

Tikhonova Elena Nikolaevna  — Cand. Sci (Biol.), Head of Landscape Architecture and Soil Science Department, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, tichonova-9@mail.ru

Odnoralov Gennadiy Alekseevich — Cand. Sci (Biol.), Associate Professor, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, kafedra.laip@inbox.ru

Treshchevskaya Ella Igorevna — Dr. Sci (Agric.), Professor of Silviculture, Selection and Forest melioration Department, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, ehllt@yandex.ru

Kharchenko Nikolay Nikolaevich — Dr. Sci. (Biol.), Professor of Ecology, forest protection and forest hunting Department, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, forest.vrn@gmail.com

Golyadkina Inna Vyacheslavovna — Cand. Sci (Agric.), Associate Professor, Landscape Architecture and Soil Science Department, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, golyadkina@post.vgltu.ru

Received 13.05.2025.

Approved after review 16.07.2025.

Accepted for publication 04.08.2025.

Вклад авторов: все авторы в равной доле участвовали в написании статьи
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article
The authors declare that there is no conflict of interest

ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ КУЛЬТУР СОСНЫ СКРУЧЕННОЙ *PINUS CONTORTA* VAR. *LATIFOLIA* РАЗЛИЧНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ПРИОБСКИХ БОРОВ АЛТАЙСКОГО КРАЯ

Л.И. Бородинцева^{1✉}, В.В. Тараканов¹, А.Л. Федорков²,
Т.В. Брайт-Гончарова^{3,4}

¹Западно-Сибирское отделение Института леса Сибирского Отделения Российской академии наук — филиал ФГБНУ Федерального исследовательского центра «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» (ЗСО ИЛ СО РАН — филиал ФИЦ КНЦ СО РАН), Россия, 630082, г. Новосибирск, ул. Жуковского, д. 100/1

²Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук (ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН), Россия, 167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28

³Филиал ФБУ «Российский центр защиты леса» — «Центр защиты леса Новосибирской области», Россия, 630112, г. Новосибирск, ул. Гоголя, д. 221

⁴ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный университет» (НГАУ), Россия, 630039, г. Новосибирск, ул. Добролюбова, д. 160

altay-lss@yandex.ru

Оценена динамика роста и семенной продуктивности 10-летних культур сосны скрученной широколистной (*Pinus contorta* var. *latifolia*) различных экотипов, выращиваемых в период 2014–2024 гг. на территории Озерского лесничества Алтайского края (лесостепь Западной Сибири). Установлено, что исследуемый интродуцент, выращенный из семян, заготовленных на шведских плантациях сосны скрученной различного географического происхождения, может успешно произрастать в лесостепной зоне Алтайского края. Лучшими по росту на начальном этапе онтогенеза оказались экотипы Larslund, Rumhult и Österby более южного происхождения. При этом они пока отстают от местной сосны обыкновенной, выращенной из улучшенных семян, но в последние годы имеют годовые приросты по высоте на уровне высших классов бонитета. Выявлено, что в новых для нее лесорастительных условиях, сосна скрученная раньше, чем местная сосна, вступает в период плодоношения и имеет нормально развитые генеративные органы, но выход семян из шишек, которые умеренно повреждаются насекомыми конобионтами, вследствие небольшого возраста культур является пониженным.

Ключевые слова: интродукция, сосна скрученная широкохвойная, лесостепь Западной Сибири, динамика роста и семенения

Ссылка для цитирования: Бородинцева Л.И., Тараканов В.В., Федорков А.Л., Брайт-Гончарова Т.В. Дифференциация культур сосны скрученной *Pinus contorta* var. *latifolia* различного происхождения в условиях Приобских боров Алтайского края // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2025. Т. 29. № 5. С. 48–61. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-5-48-61

Североамериканская сосна скрученная *Pinus contorta* Douglas ex Loudon является своеобразным географическим аналогом евразийской сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L. [1]. Она широко распространена на западном побережье Северной Америки, произрастая в широком спектре местообитаний — от суходолов до болот и поднимаясь в Скалистые горы до высоты 3,5 тыс. м н. у. м. [2]. Основное внимание лесоводов и селекционеров привлекает разновидность сосны (подвид) — сосна скрученная широкохвойная *Pinus contorta* var. *latifolia*

Engelm. В Северной Америке на богатых дренированных почвах она достигает высоты 40 м [3]. Ее древесина по своим свойствам близка к таковой сосны обыкновенной, но менее смолистая, поэтому она также представляет интерес для производства целлюлозы [1, 4, 5]. Наряду с этим сосна скрученная характеризуется относительно ранним вступлением в генеративную фазу развития [6, 7]. Многие естественные насаждения этой породы имеют пирогенную природу, произрастая на горячих, а ее семена в «поздних» шишках способны длительное время сохранять всхожесть и обеспечивать обсеменение территории после лесного пожара [8, 9]. На состояние и развитие

насаждений сосны скрученной большое влияние оказывают возбудители болезней и насекомые-вредители. В частности, в литературе активно обсуждается проблема устойчивости *Pinus contorta* к жуку семейства короедов (*Dendroctonus ponderosae* Hopkins) [10, 11]. Евразийским аналогом этого вредителя хвойных пород является большой еловый лубоед (*Dendroctonus micans* Kugel.) [12]. В США и Канаде сосна скрученная широкохвойная включена в селекционные программы [13–15].

Несмотря на эколого-морфологическое сходство сосны скрученной широкохвойной с сосной обыкновенной, они не скрещиваются между собой. Данное обстоятельство, описанные выше достоинства, а также преимущество в скорости роста сосны скрученной широкохвойной по сравнению с сосной обыкновенной в Скандинавских странах обусловили ее системную интродукцию, включение в селекционные программы и создание плантаций на обширных территориях Северной и Центральной Европы, особенно в Швеции, Великобритании, Финляндии [3, 16–20]. Интродукция этого вида в Европе продолжается около 100 лет. В частности, в Швеции культурами сосны скрученной широколистной занято около 600 тыс. га. В этой стране селекционерами созданы лесосеменные плантации [19], которые используются как для производства собственных семян и дальнейшей селекции, так и для создания экспериментальных культур в других странах, включая Россию.

В СССР культуры сосны скрученной в ограниченном количестве создавались с 1920-х годов в Карелии, Ленинградской области, Прибалтийских республиках, а также в других регионах европейской части РФ, вплоть до лесостепи. Основываясь на имеющихся фрагментарных данных, о перспективности интродукции и необходимости дальнейшего изучения сосны скрученной (сосны Муррея) писали многие лесоводы [21–24]. Системные исследования этого ценного экзота начались в России с 1980–1990-х годов [25–33]. Опытные культуры этого вида на основе семян, заготовленных в Швеции на шести лесосеменных плантациях различного географического происхождения, были заложены в Республике Коми [34–39]. Здесь сосна скрученная обогнала сосну обыкновенную по высоте на 7...15 %, диаметру ствола — на 4...13 %, объему ствола — на 12...31 % [35, 37, 38].

На территории Вологодской области было заложено более 14 га культур сосны скрученной. В возрасте 20 лет средний диаметр и высота ствола составили 12,2 см и 9,2 м соответ-

ственно, средний объем хлыста — 0,075 м³. Насаждение сосны скрученной отнесено к I классу бонитета [40].

В Ленинградской области культуры сосны скрученной созданы полусибовым потомством пяти различных плюсовых деревьев естественного ареала произрастания (провинция Альберта, Канада). В возрасте культур 22 года наибольшую высоту — 13,2 м имело потомство северного происхождения из района Гордондейл (Gordondale). Самыми крупными шишками отличается потомство из пункта Эдсон (Edson) [30].

Экспериментальные плантации сосны скрученной в Архангельской области заложены семенами из 31 географического пункта территории Юкон (северо-запад Канады) и из провинции Британская Колумбия (запад Канады). В возрасте 35 лет деревья имели годичный прирост 45...47 см по высоте и 0,26...0,37 см по диаметру, превосходя сосну обыкновенную местного происхождения в 1,3–1,5 раза. Средние многолетние значения длины и ширины шишек варьировали в пределах 4,2...5,1 см и от 2,2...2,7 см соответственно [31, 41].

Успешность ступенчатой интродукции этой ценной породы в условиях таежной зоны Архангельской области изложена в монографии [42]. Качество целлюлозного сырья, полученного из сосны скрученной, выращенной на северо-западе России оценено в работах [4, 5].

Обобщение результатов интродукции сосны скрученной на Северо-Западе и в других регионах европейской части России привело к заключению о перспективности выращивания северных экотипов этой породы в таежной зоне в целях ускоренного (по сравнению с местной сосной обыкновенной) получения пиломатериалов, а также производства целлюлозного сырья.

Цель работы

Цель работы — изучение возможности интродукции различных экотипов сосны скрученной широкохвойной в условия западно-сибирской лесостепи, в которых они прежде не испытывались. В настоящем сообщении обсуждаются данные по динамике роста и особенностям генеративного процесса культур за 10-летний период их развития.

Материалы и методы

Объектами исследования служили экспериментальные культуры сосны скрученной, произрастающие на площади около 0,5 га и созданные в 2014 г. однолетними сеянцами

**Происхождение и объем посадок экотипов сосны скрученной [33]
и сосны обыкновенной (контрольный вариант)**

**Origin and planting volume of lodgepole pine [33]
and Scots pine ecotypes (control variant)**

Название и номер экотипа / лесосеменной плантации	Географические координаты плантаций, град.		Год закладки	Местонахождение насаждений, в которых были отобраны материнские деревья для создания лесосеменных плантаций	Количество высаженных растений, шт.
	с. ш.	в. д.			
Närlinge: 711	60°03'	17°01'	1987	Мэйо, Кармакс, Фрэнсис Лэйк, Вайтхос	156
Oppala: 712	60°46'	16°56'	1983	Кармакс, Вайтхос, Вэтсон Лэйк	180
Skörserum: 713	58°00'	16°31'	1984	Вайтхос, Вэтсон Лэйк, Форт Нельсон	181
Larslund: 714	58°46'	16°30'	1982	Вэтсон Лэйк, Форт Нельсон, Форт Сент Джон, Принц Георг	194
Rumhult: 715	57°41'	16°18'	1981	Форт Сент Джон, Принц Георг	196
Österby: 716	58°08'	16°15'	1981	Принц Георг, Вильям Лэйк, Камлупс, Коламбия Ривер, Вест Альберта	179
Контрольный вариант: <i>Pinus sylvestris</i> , Озерки	53°40'	83°44'	1978–1990	Россия, Алтайский край, Верхне-Обский лесосеменной район №69 [43]	214
Итого:	–	–	–	–	1300

с закрытой корневой системой в Озерском лесничестве Алтайского края. Окружающие питомник сосновые насаждения растут по I–II классам бонитета, почвы супесчаные, тип условий произрастания В₂, среднее количество осадков около 450 мм/год [43].

Для закладки опытных культур интродуцента использованы партии семян с шести лесосеменных плантаций (ЛСП) в Швеции, а для контрольного варианта — семена с ЛСП плюсовых деревьев сосны обыкновенной в Озерском лесничестве Алтайского края (табл. 1). Семена интродуцента предоставлены доктором А.Л. Федорковым. Всего было высажено 1300 сеянцев, размещенных в 52 рядах.

Выращивание посадочного материала с закрытой корневой системой проводили в теплице конструкции шведско-финской фирмы АО «ВСС», расположенной в селекционно-семеноводческом центре Краевого автономного учреждения «Алтай-лес» (Алтайский край, Первомайский район, с. Светлое). Посев семян осуществлялся в кассеты «Плантек 81Ф» в два срока: 29 апреля и 12 мая 2013 г. [44].

Посадка сеянцев интродуцента, выращенных из партий семян различного происхождения, которые для краткости будем называть экотипами, осуществлялась по схеме рандомизированного размещения 3–4-рядных делянок, сгруппированных в три повторности/блока. Контрольный вариант (местная сосна) высаживался на одно-рядных делянках, по три делянки на блок схемы. Размещение деревьев при по-

садке 4×1 м (2500 шт./га). Оценка сохранности, высоты и диаметра ствола проводилась по всем деревьям, учет количества шишек и микростробил — как по всем деревьям, так и методом случайной выборки 10 модельных деревьев в 2014, 2015, 2021, 2022 и 2023 гг. В 2022 г. на всех деревьях каждого климатипа осуществляли измерения годовых приростов и числа мутовок. В каждом экотипе для селекционных исследований было отобрано по 10...20 деревьев, лучших по росту (высоте ствола), количеству мужских колосков (потенциальная пыльцевая продуктивность) и шишек (потенциальная семенная продуктивность). В настоящей статье использованы данные сплошных перечетов и массовых сборов генеративных органов со всех плодоносящих деревьев исследуемых экотипов.

В лабораторных условиях общепринятыми методами для каждой пробы шишек оценивали размеры шишек и семян (длину, ширину), количество и массу семян, число и выход полнозерных семян из шишек. Объем выборки для измерения шишек составлял 30 шт. на смешанные образцы каждого экотипа. Статистическую обработку данных проводили в программе Microsoft Excel общепринятыми методами.

Авторы не имели возможности ежегодно осуществлять все виды перечисленных исследований. Тем не менее, полученные результаты позволяют в общих чертах охарактеризовать динамику роста и генеративные процессы интродуцента в первые 10 лет его роста в условиях Приобского бора Алтайского края.

Результаты и обсуждение

За период исследований 2014–2024 гг. культуры сосны скрученной в лесостепи Западной Сибири успешно прижились и развиваются без внешних патологий, несмотря на существенное отличие условий произрастания по сравнению с лесорастительными условиями как на родине интродуцента, так и в условиях интродукции в Европе и на Северо-Западе России.

Сохранность культур на протяжении исследуемого периода постепенно снижалась от 95 % в конце первого периода вегетации (2014 г.) до уровня около 45 % в 2024 г. (рис. 1). В западной, несколько пониженной, части площади после 2016 г., средняя сохранность по участку составляла около 70 %, однако значительная часть посадок в зимние периоды 2017–2019 гг. была повреждена мышами. Причем местная сосна была повреждена в большей степени, чем интродуцент. По данным последнего учета, наивысшей сохранностью — около 52,5 % отличается самое южное происхождение № 716 Österby, самой низкой, на уровне 34...37 %, — № 715 Rumhult, № 713 Skörserum и местная сосна (см. рис. 1). Местная сосна уступает по сохранности большинству происхождений интродуцента, за исключением № 713 и № 715.

Динамика роста по наиболее важному для селекции признаку — высоте ствола, которая в популяциях интродуцента и местной сосны характеризуется более высокой наследуемостью, чем диаметр и объем ствола [17, 18, 43], довольно типична для начального периода онтогенеза (рис. 2). В целом к возрасту 9 лет высота культур сосны скрученной достигает значений около 2,2...2,6 м. При этом и по высоте, и по диаметру ствола четко прослеживаются различия между отстающими в росте экотипами «северной» группы и лидирующими экотипами «южной» группы (табл. 2). В этом плане наши результаты отличаются от результатов испытания этих же экотипов интродуцента в зоне европейской тайги, в которой по скорости роста доминируют северные происхождения [35, 37, 38]. Однако несмотря на то, что сосна скрученная имеет в среднем два прироста за вегетационный период, она отстает по росту от местного вида, имеющего высоту 2,8 м (см. рис. 2, табл. 2). У обоих видов коэффициенты вариации высоты ствола примерно в 1,5 раза ниже соответствующих значений диаметра ствола, что близко к литературным данным и объясняется большей экологической лабильностью второго признака [43].

Ретроспективный анализ динамики роста по высоте показывает, что годовые приросты

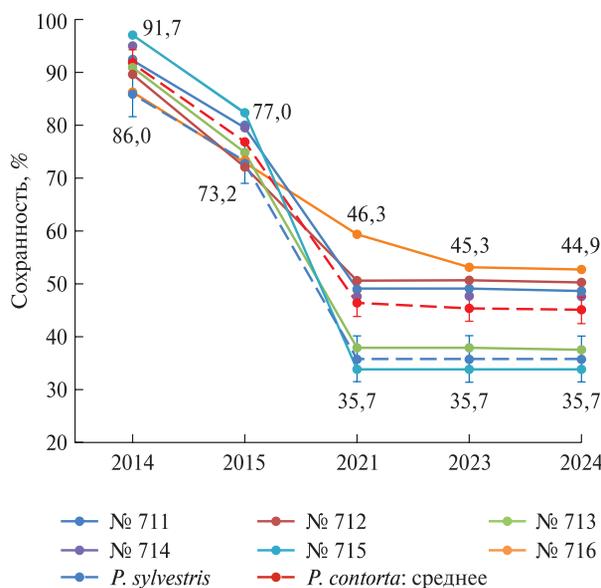


Рис. 1. Сохранность экспериментальных культур различных экотипов интродуцента и сосны обыкновенной в период 2014–2024 гг. Планки погрешностей — ошибки средних значений

Fig. 1. Survival of experimental plantings of various introduced species and Scots pine ecotypes in the period 2014–2024. Error bars represent average errors

Т а б л и ц а 2

Средние значения и коэффициенты вариации высоты и диаметра ствола экотипов сосны скрученной и сосны обыкновенной в 2022 г.

Mean values and coefficients of variation for trunk height and diameter of Shore pine pine and Scots pine ecotypes in 2022

Номер экотипа / лесосеменной плантации	Высота ствола, м		Диаметр ствола, см	
	$x \pm m$	$CV, \%$	$x \pm m$	$CV, \%$
<i>P. contorta</i>				
711	2,2 ± 0,06	23,2	2,6 ± 0,13	41,3
712	2,2 ± 0,05	22,2	2,6 ± 0,10	35,4
713	2,2 ± 0,08	27,9	2,7 ± 0,16	48,4
714	2,6 ± 0,06	23,6	3,4 ± 0,13	35,5
715	2,5 ± 0,07	23,5	3,4 ± 0,15	36,4
716	2,6 ± 0,06	24,7	3,4 ± 0,13	39,8
<i>P. sylvestris</i>				
Озерки	2,8 ± 0,08	26,0	3,8 ± 0,18	40,9

Примечание. $x \pm m$ — среднее значение; CV — коэффициент вариации.

местного вида сосны после посадки постепенно увеличивались приблизительно от 10 до 62 см (табл. 3). Интродуцент за 8 лет роста

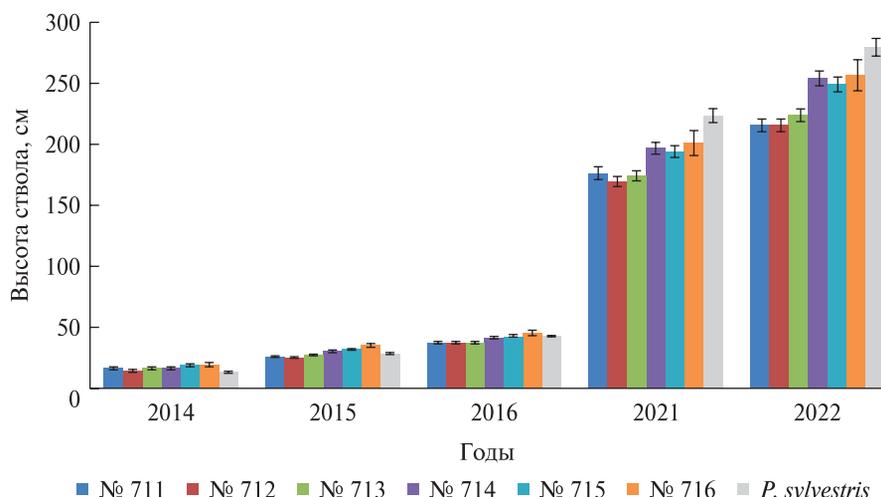


Рис. 2. Высота ствола экспериментальных культур различных экотипов интродуцента и сосны обыкновенной в период 2014–2024 гг. Планками погрешностей обозначены ошибки средних значений

Fig. 2. Trunk height of experimental plantings of various ecotypes of the introduced species and Scots pine in the period 2014–2024. Error bars indicate the errors of the mean values

Т а б л и ц а 3

Приросты осевого побега (длины междоузлий) различных экотипов сосны скрученной и сосны обыкновенной в 2022 гг., см

Axial shoot growth (internode length) of various ecotypes of Shore pine and Scots pine in 2022, cm

Порядковый номер прироста (по счету от вершины)	711	712	713	714	715	716	<i>P. sylvestris</i>
1	30,1 ± 2,05	31,9 ± 1,70	38,3 ± 2,37	42,3 ± 1,72	41,5 ± 2,25	41,8 ± 1,53	61,9 ± 1,89
2	23,7 ± 1,42	22,2 ± 1,04	22,5 ± 1,36	25,2 ± 1,17	22,3 ± 1,22	23,8 ± 1,08	–
1 + 2	53,8	54,1	60,8	67,5	63,8	65,6	61,9

в открытом грунте имел по 15...18 приростов осевого побега, т. е. по два (редко три) прироста в год. При этом в северной группе экотипов № 711–№ 713 на последний год учета суммарный годичный прирост (сумма приростов № 1 и № 2 в табл. 3) составил 53...61 см, в то время как в южной — 64...68 см. Аналогичный прирост местной сосны составил 61,9 см. Из этого следует, что со временем некоторые из южных экотипов могут догнать или даже перегнать по высоте местную сосну.

Между высотой ствола и числом приростов деревьев *P. contorta* обнаружена прямая положительная зависимость, что согласуется с результатами исследований в других регионах [16]. Например, у экотипа № 716 коэффициент корреляции Пирсона между этими признаками равен 0,521 ($N = 105$, $P < 0,001$).

Что касается урожая зрелых шишек и мужских колосков, то местная сосна пока не плодоносит, а у интродуцента первые шишки завязались в 2021 г. (в 8 лет); мужское цветение впервые зафиксировано на год позже (в 9 лет) (табл. 4). За период 2021–2024 гг. доля плодоносящих деревьев увеличилась с 9...41 до 61...95 %, а число шишек на дереве возросло с 1–2 до 6...15 шишек на дереве. Доля деревьев с наличием мужских колосков возросла в период 2022–2024 гг. с 23...47 до 36...73 %. Число мужских колосков увеличилось менее значительно — с 5...14 до 6...15 шт. на одном дереве. С учетом годичной динамики урожая шишек различных климатипов в среднем сопоставимы, а урожай мужских колосков несколько выше у южных происхождений № 714–№ 716. В контрольном варианте местной сосны единичные недоразвитые мужские колоски

Т а б л и ц а 4

Урожай зрелых шишек и мужских колосков сосны скрученной в 2021–2024 гг.

Yield of mature cones and male spikelets of Shore pine in 2021–2024

Номер экотипа / лесосеменной плантации	Количество зрелых шишек, шт./дер.				Количество мужских колосков, шт./дер.		
	2021	2022	2023	2024	2022	2023	2024
711	1,4 ± 0,33	7,3 ± 0,85	4,3 ± 0,55	11,4 ± 1,40	6,8 ± 2,39	3,1 ± 1,22	11,4 ± 1,40
712	1,5 ± 0,33	8,1 ± 0,95	7,3 ± 1,04	14,8 ± 1,70	4,6 ± 1,71	2,1 ± 1,30	14,8 ± 1,70
713	1,5 ± 0,37	8,5 ± 1,89	5,0 ± 1,06	11,5 ± 1,84	5,2 ± 1,90	6,5 ± 2,66	11,5 ± 1,84
714	1,5 ± 0,30	10,8 ± 1,12	6,8 ± 1,12	12,5 ± 1,46	13,9 ± 2,66	12,6 ± 2,48	12,5 ± 1,46
715	1,4 ± 0,41	10,5 ± 1,65	5,8 ± 0,95	11,2 ± 1,35	8,2 ± 1,85	14,2 ± 2,66	11,2 ± 1,35
716	0,7 ± 0,40	5,8 ± 1,06	3,5 ± 0,65	5,48 ± 0,90	13,2 ± 3,14	21,7 ± 3,57	5,48 ± 0,90

Т а б л и ц а 5

Показатели изменчивости длины и ширины шишек экотипов сосны скрученной

Cone length and width variability indicators for Shore pine ecotypes

Номер экотипа / лесосеменной плантации	Длина, см				Ширина, см				Индекс формы
	$x \pm m$	min	max	$CV, \%$	$x \pm m$	min	max	$CV, \%$	
2022 г.									
711	3,9 ± 0,07	2,8	5,0	13,0	2,1 ± 0,04	1,5	2,8	13,3	0,5 ± 0,01
712	4,0 ± 0,07	2,8	5,6	14,4	2,2 ± 0,05	1,5	3,3	17,6	0,6 ± 0,01
713	3,8 ± 0,08	3,0	4,8	12,1	2,3 ± 0,04	1,9	2,8	9,7	0,6 ± 0,01
714	4,0 ± 0,07	3,0	5,3	12,4	2,4 ± 0,05	1,7	3,4	16,1	0,6 ± 0,01
715	3,8 ± 0,07	2,5	4,6	13,7	2,2 ± 0,05	1,5	3,0	15,5	0,6 ± 0,01
716	3,5 ± 0,08	2,2	4,6	16,6	2,1 ± 0,04	1,5	3,1	14,3	0,6 ± 0,01
Среднее значение	3,83 ± 0,076	–	–	–	2,22 ± 0,048	–	–	–	0,58 ± 0,017
2023 г.									
711	3,7 ± 0,07	2,6	4,9	14,1	2,0 ± 0,03	1,6	2,7	13,0	0,6 ± 0,01
712	3,7 ± 0,06	2,4	4,6	14,1	2,0 ± 0,04	1,5	2,8	15,5	0,5 ± 0,01
713	3,4 ± 0,06	2,4	4,0	10,7	2,1 ± 0,05	1,5	2,9	14,9	0,6 ± 0,01
714	3,7 ± 0,08	2,3	5,2	16,4	2,1 ± 0,05	1,4	3,1	18,7	0,6 ± 0,01
715	3,5 ± 0,05	2,6	4,3	11,8	2,1 ± 0,04	1,5	2,8	12,0	0,6 ± 0,01
716	3,3 ± 0,08	2,3	4,7	17,0	2,1 ± 0,05	1,5	3,0	16,2	0,7 ± 0,01
Среднее значение	3,55 ± 0,072	–	–	–	2,07 ± 0,021	–	–	–	0,60 ± 0,026

Примечание. $x \pm m$ — среднее значение; CV — коэффициент вариации.

впервые зарегистрированы в 2024 г., зрелые шишки отсутствуют.

Цветение (пыление) сосны скрученной начинается одновременно с прилегающими лесосеменными объектами сосны обыкновенной. В 2022 г. оно началось 22 мая, в 2023 г. — 3 июня, в 2024 г. — 24 мая. Сосна скрученная, имеющая крупные мужские шишки и большие микроспорангии, пылит дольше сосны обыкновенной.

Зрелые женские шишки сосны скрученной мельче, чем у сосны обыкновенной, особенно по длине, и не столь существенно отличаются по экотипам, за исключением интенсивно растущего экотипа № 716 с более короткими шишками (табл. 5). На ЛСП местной сосны по среднемноголетним данным длина и ширина шишек составляют 4,59 и 2,25 см соответственно [46]. Средние длина и ширина шишек интродуктора варьируют по годам и состав-

ляют в первые годы семеношения 3,55...3,83 и 2,07...2,22 см соответственно (см. табл. 5). Это несколько меньше, чем на Северо-Западе России [31, 41]. Индекс формы шишек (отношение ширины к длине) сосны скрученной несколько выше, чем сосны обыкновенной — около 0,6 и 0,5 соответственно. Значения коэффициентов вариации находятся в пределах, характерных для этих признаков.

Средний выход полнозерных семян из шишек *P. contorta* пока невелик и находится в пределах 0,3...0,5 % (у сосны обыкновенной по среднесуточным данным — 0,9 %). Масса 1000 семян варьирует по экотипам в пределах 4,0...4,9 г (у сосны обыкновенной — 6,4...8,0 г).

Шишки интродуцента, как и местной сосны, повреждаются шишковой смолевкой *Pissodes validirostris* Gyll. и огневкой *Dioryctria abietella* Schiff., для которых в условиях ЛСП сосны обыкновенной формируются благоприятные условия для развития [47, 48]. По данным обследования последних урожаев, средняя частота повреждения шишек смолевкой варьирует по годам в диапазоне 2,8...4,5 % их общего числа, огневкой — 1,6...9,0 % (табл. 6). Доля поврежденных шишек в урожайном 2024 г. выше, чем в менее урожайном 2023 г. При этом меньшей устойчивостью к огневке отличались южные экотипы (особенно экотип № 715), частота поврежденных шишек у которых в 2024 г. составила 6...21 % против 2...5 % у северных.

Судя по данным за первые 10 лет испытаний, сосну скрученную можно успешно выращивать в условиях Приобских боров Алтая. При этом следует иметь в виду, что на Северо-Западе России, также как и в Скандинавских странах, при сравнении сосны скрученной с местной сосной обыкновенной преимущество в росте и сохранности имеют происхождения/экотипы из северной части ареала. По данным наших экспериментов, сопоставимых по перечню испытываемых происхождений, густоте посадки и возрасту с данными исследований [34–38], при произрастании в лесостепной зоне Алтайского края, во-первых, сосна скрученная, по крайней мере до возраста 10 лет, отстает от местной сосны, во-вторых, лучшим ростом у интродуцента отличаются более южные, а не северные происхождения этого вида. Вероятно, это связано с большей континентальностью климата и большей суммой активных температур на юге Западной Сибири, что создает лучшие условия для роста более южным происхождениям *P. contorta*. Например, средняя продолжительность вегетационного периода, сумма активных температур выше +5 °С, годовая сумма осадков и гидротермический коэффициент в Верхне-

Т а б л и ц а 6

Повреждаемость шишек различных экотипов интродуцента конобионтами
Conobiont damage to cones of various ecotypes of the introduced species

Номер экотипа / лесосеменной плантации	Число шишек				
	Общее, шт.	поврежденных			
		смолевкой		огневкой	
		шт.	%	шт.	%
2023 г.					
711	135	0	0,0	0	0,0
712	296	5	1,7	2	0,7
713	99	1	1,0	0	0,0
714	251	12	4,8	3	1,2
715	109	0	0,0	6	5,5
716	144	11	7,6	6	4,2
Итого	1034	29	2,8	17	1,6
2024 г.					
711	273	21	7,7	6	2,2
712	416	13	3,1	16	3,8
713	315	10	3,2	17	5,4
714	570	21	3,7	72	12,6
715	340	25	7,4	70	20,6
716	299	10	3,3	19	6,4
Итого	2213	100	4,5	200	9,0

Печорском лесосеменном районе 4б и Прислаирском лесосеменном районе 69а составляют соответственно 132 и 159 сут., 1570 и 2240 °С, 495 и 420 мм, 1,9 и 1,0 соответственно [45]. При этом в таежной зоне Республики Коми сосна скрученная северного происхождения, имея в 10 лет высоту ствола 3,3...3,4 м, растет по II классу бонитета [49]. Южные происхождения интродуцента, лидирующие по росту в лесостепи Западной Сибири, за восемь вегетационных периодов достигают высоты 2,5...2,6 м и их годичный прирост, в последние годы превышающий 60 см, соответствует I–Ia классам бонитета. Расчеты показывают, что при соблюдении этой тенденции происхождения № 714–№ 716 обгонят местную сосну в опытных посадках уже в ближайшие 20 лет.

Важно также учитывать, что в связи с использованием в качестве контрольного варианта сосны обыкновенной, выращенной из улучшенных семян, рост лучших происхождений интродуцента даже на уровне контроля будет означать некоторое увеличение продуктивности культур этого вида по сравнению с местными насаждениями нормальной селекционной категории.

Наши исследования подтверждают, что число приростов осевого побега положительно связано с высотой ствола [16], поэтому возможно, что отобранные по интенсивности роста деревья будут иметь больше скелетных ветвей и древесина их будет более сучковатой. Это может снизить качество пиломатериалов. Для подтверждения такого предположения необходимо получить данные о толщине и числе ветвей в мутовках, а также об очищаемости ствола от сучьев. Этими данными мы пока не располагаем.

В условиях интродукции сосна скрученная *P. contorta* сохраняет способность более раннего вступления в период цветения и семеношения по сравнению с местной сосной, а ее шишки имеют нормальные размеры и не испытывают сильных повреждений от насекомых-конобионтов. Это делает ее перспективной для ранних селекционно-генетических манипуляций. Наряду с этим, представляет интерес совместимость испытываемых видов при прививке местной сосны на интродуцент для оценки возможности стимуляции генеративных процессов местного вида подвоем.

Полученные данные в связи с небольшим периодом наблюдений позволяют сделать предварительные выводы, которые будут уточняться по мере взросления деревьев в опытных культурах.

Выводы

1. Сосна скрученная широколистная (*Pinus contorta* var. *latifolia*) может успешно выращиваться в лесостепной зоне Алтайского края.

2. В отличие от результатов, полученных в условиях Северо-Запада России, в условиях Приобских боров Алтай лидируют по росту не северные, а более южные экотипы/происхождения этой породы.

3. В возрасте до 10 лет испытываемый интродуцент отстает по скорости роста от местного вида сосны обыкновенной, выращенной из улучшенных семян. Но лучшие экотипы с. скрученной в последние годы имеют годовые приросты по высоте на уровне I–IIa классов бонитета.

4. Как и в исследованиях сосны скрученной в других регионах России, в лесостепи Западной Сибири она по сравнению с местной сосной отличается более ранним вступлением в период продуцирования пыльцы и семян. Генеративные органы имеют нормальные размеры, характерные для этого вида. Однако в связи с небольшим возрастом культур выход полнозерных семян пока незначителен.

5. Шишки сосны скрученной, как и местной сосны, умеренно повреждаются насекомыми-конобионтами — шишковой смолевкой *Pissodes validirostris* и шишковой огневкой *Dioryctria abietella*.

Работа выполнена при поддержке базового проекта НИОКТР ФИЦ КНЦ СО РАН FWES-2024-0028/124012900557-0 «Биоразнообразие лесов Сибири: эколого-динамический, генетико-селекционный, физико-химический и ресурсно-технический аспекты».

Благодарности

Авторы благодарят руководство Управления лесами Алтайского края в лице С.Д. Самсоненко, В.А. Черных и А.Н. Стрелковского, директора Алтайского лесного селекционно-семеноводческого центра В.В. Бубенищкова, начальника отдела лесных отношений по Озерскому лесничеству С.А. Андрушко, мастера Озерского питомника А.М. Беседовского, ст. науч. сотр. ЗСО ИЛ СО РАН — филиал ФИЦ КНЦ СО РАН Ю.Н. Ильичева, а также студентов Новосибирского ГАУ, принявших участие в посадке. Особо признательны С.Н. Горошкевичу, который обратил наше внимание на ценные свойства и возможность интродукции исследуемого экзота в Западную Сибирь.

Список литературы

- [1] Раевский Б.В. Селекция и семеноводство сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и сосны скрученной (*Pinus contorta* Dougl. ex Loud. var. *latifolia* Engelm) на северо-западе таежной зоны России: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.01. Петрозаводск, 2015. 322 с.
- [2] Koch P. Lodgepole pine in North America // Forest Products Society, 1996, t. 1, 343 p.
- [3] Демидова Н.А., Дуркина Т.М., Гоголева Л.Г., Быков Ю.С., Парамонов А.А. Результаты 35-летнего испытания сосны скрученной на европейском севере России // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии, 2018. № 225. С. 90–105.
- [4] Казаков Я.В., Бабич Н.А. Структурно-морфологические свойства волокон сосны скрученной, выращенной в условиях интродукционного стресса // Хвойные бореальной зоны, 2023. № 41(6). С. 521–529.
- [5] Казаков Я.В., Бабич Н.А., Крушевская Н.А. Изменение структурно-морфологических свойств сульфатной целлюлозы из древесины интродуцированной сосны скрученной при размоле // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2024. Т. 28. № 5. С. 153–165. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-5-153-165
- [6] Owens J.N. The reproductive biology of lodgepole pine. British Columbia: FGC extension note, 2006, no. 07, 66 p.

- [7] Turner M.G., Turner D.M., Romme W.H., Tinker D.B. Cone production in young post-fire *Pinus contorta* stands in Greater Yellowstone (USA) // *Forest Ecology and Management*, 2007, no. 242, pp. 119–126.
- [8] Lotan J.E., Perry M.C., Perry D.A. Ecology and regeneration of lodgepole pine. US Department of Agriculture, Forest Service, 1983, no. 606–607, 51 p.
- [9] Lotan J., Brown J., Neuenschwander L. Role of fire in lodgepole pine forests // *Lodgepole pine: the species and its management*. Cooperative Extension Service, Washington State University, Pullman, 1985, pp. 133–152.
- [10] Shore T.L., Safranyik L., Hawkes B.C., Taylor S.W. Effects of the mountain pine beetle on lodgepole pine stand structure and dynamics. The mountain pine beetle: a synthesis of biology, management and impacts on lodgepole pine // *Can. For. Serv., Victoria*, 2006, pp. 94–114.
- [11] Axelson J.N., Alfaro R.I., Hawkes B.C. Influence of fire and mountain pine beetle on the dynamics of lodgepole pine stands in British Columbia, Canada // *Forest Ecology and Management*, 2009, t. 257, no. 9, pp. 1874–1882.
- [12] Коломиец Н.Г., Богданова Д.А. Большой еловый лубоед (дендроктон) в сосновых лесах Сибири. Новосибирск: Наука, 1999. 112 с.
- [13] MacLachlan I.R., Andreas H., Pia S., Sally N.A. Selective breeding of lodgepole pine increases growth and maintains climatic adaptation // *Forest Ecology and Management*, 2017, t. 391, pp. 404–416.
- [14] Chang Wei-Yew, Gaston C., Cool J., Thomas B.R. A financial analysis of using improved planting stock of white spruce and lodgepole pine in Alberta, Canada: genomic selection versus traditional breeding // *Forestry: An International J. of Forest Research*, 2019, t. 92, no 3, pp. 297–310. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpz011>.
- [15] Ukrainetz N.K., Mansfield S.D. Prediction accuracy of single-step BLUP for growth and wood quality traits in the lodgepole pine breeding program in British Columbia // *Tree Genetics & Genomes*, 2020, t. 16, pp. 1–13.
- [16] Fries A., Lindgren D. Performance of plus tree progenies of *Pinus contorta* originating north of latitude 55° N in a Swedish trial at 64° N. // *Canadian J. of Forest Research*, 1986, no 16(3), pp. 427–437. <https://doi.org/10.1139/x86-079>.
- [17] Ericsson T., Danell Ö., Andersson B. Genetic variation of *Pinus contorta* var. *latifolia* breeding material in Sweden // *Canadian J. of Forest Research.*, 1994, t. 24, no 4, pp. 723–729.
- [18] Ericsson T. Lodgepole pine (*Pinus contorta* var. *Latifolia*) breeding in Sweden — results and prospects based on early evaluations: Dissertation Swedish University of Agricultural Science. Faculty of Forestry. Dep. Of Forest Genetics and Plant Physiology. Umea, 1994, 325 p. P. 64.
- [19] Elfving B., Ericsson T., Rosvall O. The introduction of lodgepole pine for wood production in Sweden — a review // *Forest ecology and management*, 2001, t. 141, no. 1–2, pp. 15–29.
- [20] Ola E., Sjöberg K., Andersson B., Rosvall Ol., Ågren G.I., Baker W.L., Barklund P., Björkman C., Despain D.G., Elfving B., Ennos R.A., Karlman M., Knecht M.F., Knight D.H., Ledgard N.J., Lindelöw Å., Nilsson C., Peterken G.F., Sörlin S., Sykes M.T. Ecological effects and management aspects of an exotic tree species: the case of lodgepole pine in Sweden // *Forest Ecology and Management*, 2001, t. 141, no. 1–2, pp. 3–13. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00498-9](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00498-9).
- [21] Гиргидов Д.Я. Сосна Муррея. Интродукция древесных пород на Северо-Западе СССР. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1955. С. 22–24.
- [22] Гиргидов Д.Я. Сосна Муррея и дуб красный в северо-западных районах СССР // *Лесное хозяйство*, 1952. № 7. С. 8–13.
- [23] Салины С.Х. Сосна Муррея и ее культуры в Латвийской ССР. Исследования о природе древесных пород. Рига: Изд-во АН Латвийской ССР, 1964. С. 83–100.
- [24] Мелехов И.С. Интродукция хвойных в лесном хозяйстве // *Лесоведение*, 1984. № 6. С. 72–78.
- [25] Нилов В.Н., Стафеев Б.Л. Сосна скрученная в плантационных посадках Архангельской области. Лесоводство, лесоразведение, лесные пользования // *Экспресс-информ. М.: Изд-во ЦБНТИ*, 1987. С. 12–21.
- [26] Мордась А.А., Раевский Б.В. Всхожесть семян и рост сосны скрученной в Карелии // *Лесоведение*, 1992. № 1. С. 89–94.
- [27] Раевский Б.В. Культуры сосны скрученной в Карелии: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. СПб., 1992. 25 с.
- [28] Кищенко И.Т. Урожайность шишек и жизнеспособность семян у некоторых представителей семейства *Pinaceae* при интродукции в Карелии // *Растительные ресурсы*, 1999. № 2. С. 32–37.
- [29] Марков И.А., Жигунов А.В. Лесокультурные испытания перспективных пород-интродуцентов на Северо-Западе России // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии*, 1999. Вып. 165. С. 20–28.
- [30] Алексеев В.М., Жигунов А.В., Бондаренко А.С., Бурцев Д.С. Интродукция сосны скрученной в условиях Ленинградской области // *ИзВУЗ Лесной журнал*, 2014. № 3 (339). С. 24–33.
- [31] Плюснина С.Н., Федорков А.Л., Гуляев Р.Г. Структура хвои сосны скрученной *Pinus contorta* Dougl. и сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L. в экспериментальных культурах // *Лесной вестник / Forestry Bulletin*, 2024. Т. 28. № 1. С. 46–55. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-1-46-55
- [32] Осипенко А.Е., Залесов С.В. Обеспеченность подростом сосновых насаждений Алтае-Новосибирского района лесостепей и ленточных боров // *Лесной вестник / Forestry Bulletin*, 2024. Т. 28. № 3. С. 15–25. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-3-15-25
- [33] Демидова Н.А., Дуркина Т.М., Гоголева Л.Г. Семеновое сосны скрученной широкохвойной (*Pinus contorta* Dougl. Ex Loud. var. *Latifolia* Engelm. Ex Wats) в Архангельской области // *Лесохозяйственная информация*, 2017. № 2. С. 65–77.
- [34] Fedorkov A. Variation in shoot elongation patterns in *Pinus contorta* and *Pinus sylvestris* in north-west Russia // *Scandinavian J. of Forest research*, 2010, no. 25, pp. 208–212.
- [35] Федорков А.Л. Изменчивость адаптивных признаков хвойных в условиях стресса на Севере Европы: дис. ... д-ра биол. наук: 03.02.08. Москва, 2011. 239 с.
- [36] Гутий Л.Н., Федорков А.Л. Состояние и рост экспериментальных культур сосны скрученной в Республике Коми // *Лесоведение*, 2016. № 4. С. 265–269.
- [37] Федорков А.Л., Гутий Л.Н. Состояние экспериментальных культур сосны скрученной в Республике

- Коми // Вестник Института биологии Коми НЦ УрО РАН, 2017. № 2 (200). С. 25–31.
- [38] Fedorkov A., Gutiy L. Performance of lodgepole pine and Scots pine in field trials located in north-west Russia // *Silva Fennica*, 2017, t. 51, no. 1.
- [39] Пристова Т.А., Федорков А.Л. Элементный состав *Pinus contorta* Dougl. и *Pinus sylvestris* L. в экспериментальных культурах Сыктывкарского лесничества Республики Коми // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии*, 2023. № 245. С. 55–70.
- [40] Грязькин А.В., Грибов С.Е., Корчагов С.А., Чан Ч.Т., Ву В.Х., Данг В.Х. Приживаемость и сохранность лесных культур на фоне успешного естественного возобновления сосны и ели // *Актуальные проблемы развития лесного комплекса. Материалы XVIII Междунар. науч.-техн. конф., Вологда, 01 декабря 2020 г.* Вологда: Изд-во Вологодского государственного университета, 2020. С. 26–29
- [41] Демидова Н.А., Дуркина Т.М., Гоголева Л.Г., Демиденко С.А., Быков Ю.С., Парамонова А.А. Рост и развитие сосны скрученной (*Pinus contorta* Loud. var. *Latifolia* S. Wats) в условиях северной тайги // *Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства*, 2016. № 2. С. 45–59.
- [42] Андропова М.М., Бабич Н.А., Хамитов Р.С. Ступенчатая интродукция древесных растений на севере Русской равнины. Архангельск: Изд-во САФУ, 2021. 412 с.
- [43] Тараканов В.В., Демиденко В.П., Ишутин Я.Н., Бушков Н.Т. Селекционное семеноводство сосны обыкновенной в Сибири. Новосибирск: Наука, 2001. 230 с.
- [44] Тараканов В.В., Федорков А.Л., Кузьмина Т.В., Авдодина А.Н. Всхожесть семян и рост сеянцев североамериканского вида *Pinus contorta* Dougl. в Южной Сибири // *Растительный мир Северной Азии: проблемы изучения и сохранения биоразнообразия: Материалы всерос. конф. Новосибирск, 1–3 октября 2013 г.* Новосибирск: Изд-во ЦСБС СО РАН, 2013. С. 133–135.
- [45] Лесосеменное районирование основных лесообразующих пород в СССР. М.: Лесная пром-сть, 1982. 368 с.
- [46] Тараканов В.В., Кальченко Л.И. Фенетический анализ клоновых и естественных популяций сосны в Алтайском крае. Новосибирск: Гео, 2015. 107 с.
- [47] Тараканов В.В., Дубовик Д.С., Роговцев Р.В., Зацепина К.Г., Бугаков А.В., Гончарова Т.В. Состояние и перспективы развития генетико-селекционного комплекса хвойных пород в Сибири (на примере Новосибирской области) // *Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование*, 2019. № 3 (43). С. 5–24. DOI: 10.25686/2306-2827.2019.3.5
- [48] Гончарова Т.В., Тараканов В.В., Бородинцева Л.И., Ноздренко Я.В. Влияние насекомых конобионтов на размер шишек на клоновых плантациях сосны в Алтайском крае // *Аграрная наука — сельскому хозяйству: сб. материалов XVII Междунар. науч.-практ. конф. Барнаул, 09–10 февраля 2022 г.* В 2 кн. Барнаул: Алтайский государственный аграрный университет, 2022. 467 с.
- [49] Швиденко А.З., Щепашенко Д.Г., Нильсон С., Булуй Ю.И. Таблицы и модели хода роста и продуктивности насаждений основных лесообразующих пород Северной Евразии (нормативно-справочные материалы). М.: Рослесхоз, 2008. 886 с.

Сведения об авторах

Бородинцева Людмила Ивановна [✉] — канд. с.-х. наук, ст. науч. сотр. Западно-Сибирского отделения Института леса Сибирского Отделения Российской академии наук — филиала ФГБНУ Федерального исследовательского центра «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» (ЗСО ИЛ СО РАН — филиал ФИЦ КНЦ СО РАН), altay-lss@yandex.ru

Тараканов Вячеслав Вениаминович — д-р. с.-х. наук, гл. науч. сотр., зав. лабораторией лесных генетических ресурсов Западно-Сибирского отделения Института леса Сибирского Отделения Российской академии наук — филиала ФГБНУ Федерального исследовательского центра «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» (ЗСО ИЛ СО РАН — филиал ФИЦ КНЦ СО РАН), tarh012@mail.ru

Федорков Алексей Леонардович — д-р. биол. наук, вед. науч. сотр., Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук (ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН), fedorkov@ib.komisc.ru

Брайт-Гончарова Татьяна Владимировна — начальник отдела, филиал ФБУ «Российский центр защиты леса» — «Центр защиты леса Новосибирской области»; ст. преподаватель, ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный университет» (НГАУ), tato4ka0909@mail.ru

Поступила в редакцию 29.05.2025.

Одобрено после рецензирования 07.08.2025.

Принята к публикации 01.09.2025.

SHORE PINE (*PINUS CONTORTA* VAR. *LATIFOLIA*) CROPS OF DIFFERENT ORIGIN IN OB PINE FORESTS OF ALTAI REGION

L.I. Borodintseva¹, V.V. Tarakanov¹, A.L. Fedorkov²,
T.V. Bright-Goncharova^{3,4}

¹West Siberian Branch of the Sukachev Institute of Forest SB RAS — Branch of the Federal Research Center «Krasnoyarsk Science Center», 100/1, Zhukovsky st., 630082, Novosibirsk, Russia

²Institute of Biology of the Federal Research Center of Komi Science Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 28, Kommunisticheskaya st., 167982, Syktyvkar, Komi Republic, Russia

³Branch of FBU «Roslesozaschita» — Forest Protection Center of the Novosibirsk Region, 221, Gogolya st., 630112, Novosibirsk, Russia

⁴Novosibirsk State Agrarian University, 160, Dobrolyubova st., 630039, Novosibirsk, Russia

altay-lss@yandex.ru

The growth dynamics and the seed productivity of 10-year-old Shore pines (*Pinus contorta* var. *latifolia*) of various ecotypes, which were grown in the period 2014–2024 in the Ozersky forestry of the Altai Territory (forest-steppe of Western Siberia), were assessed. The preliminary results show that the studied introduced species grown from seeds harvested on Swedish plantations of lodgepole pine of various geographical origins can successfully grow in the forest-steppe zone of the Altai Territory. The Larslund, Rumhult and Österby ecotypes of more southern origin turned out to be the best in terms of growth at the initial stage of ontogenesis. At the same time, they still lag behind the local Scots pines grown from improved seeds, but in recent years they have had annual height increments at the level of the highest quality classes. The lodgepole pine enters the fruiting period earlier than the local pine and has normally developed generative organs. But the yield of seeds from cones, which are moderately damaged by conobiont insects, is small due to the young age of the cultures.

Keywords: introduction, lodgepole pine, forest-steppe of Western Siberia, dynamics of growth and seed production

Suggested citation: Borodintseva L.I., Tarakanov V.V., Fedorkov A.L., Bright-Goncharova T.V. *Differentsiatsiya kul'tur sosny skruchennoy Pinus contorta* var. *latifolia* razlichnogo proiskhozhdeniya v usloviyakh Priobskikh borov Altayskogo kraya [Shore pine (*Pinus contorta* var. *latifolia*) crops of different origin in ob pine forests of Altai region]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2025, vol. 29, no. 5, pp. 48–61.
DOI: 10.18698/2542-1468-2025-5-48-61

References

- [1] Raevskiy B.V. *Selektsiya i semenovodstvo sosny obyknovennoy (Pinus sylvestris L.) i sosny skruchennoy (Pinus contorta Dougl. ex Loud. var. latifolia Engelm) na severo-zapade taezhnoy zony Rossii* [Breeding and seed production of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and lodgepole pine (*Pinus contorta* Dougl. ex Loud. var. *latifolia* Engelm) in the northwest of the taiga zone of Russia]. *Dis. Cand. Sci. (Agric.)*, 06.03.01. Petrozavodsk, 2015, 322 p.
- [2] Koch P. Lodgepole pine in North America. Forest Products Society, 1996, t. 1, 343 p.
- [3] Demidova N.A., Durkina T.M., Gogoleva L.G., Bykov Yu.S., Paramonov A.A. *Rezultaty 35-letnego ispytaniya sosny skruchennoy na evropeyskom severe Rossii* [Results of a 35-year trial of lodgepole pine in the European north of Russia]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [Bulletin of the St. Petersburg Forest Engineering Academy], 2018, no. 225, pp. 90–105.
- [4] Kazakov Ya.V., Babich N.A. *Strukturno-morfologicheskie svoystva volokon sosny skruchennoy, vyrashchennoy v usloviyakh introduktsionnogo stressa* [Structural and morphological properties of lodgepole pine fibers grown under conditions of introduction stress]. *Khvoynye boreal'noy zony* [Conifers of the boreal zone], 2023, no. 41 (6), pp. 521–529.
- [5] Kazakov Ya.V., Babich N.A., Krushevskaya N.A. *Izmenenie strukturno-morfologicheskikh svoystv sul'fatnoy tsellyulozy iz drevesiny introdutsirovannoy sosny skruchennoy pri razmole* [Kraft pulp structural and morphological property changes produced from refined introduced Lodgepole pine wood]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2024, vol. 28, no. 5, pp. 153–165. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-5-153-165
- [6] Owens J.N. The reproductive biology of lodgepole pine. British Columbia: FGC extension note, 2006, no. 07, 66 p.
- [7] Turner M.G., Turner D.M., Romme W.H., Tinker D.B. Cone production in young post-fire *Pinus contorta* stands in Greater Yellowstone (USA). *Forest Ecology and Management*, 2007, no. 242, pp. 119–126.
- [8] Lotan J.E., Perry M.C., Perry D.A. Ecology and regeneration of lodgepole pine. US Department of Agriculture, Forest Service, 1983, no. 606–607, 51 p.
- [9] Lotan J., Brown J., Neuenschwander L. Role of fire in lodgepole pine forests. Lodgepole pine: the species and its management. Cooperative Extension Service, Washington State University, Pullman, 1985, pp. 133–152.
- [10] Shore T.L., Safranyik L., Hawkes B.C., Taylor S.W. Effects of the mountain pine beetle on lodgepole pine stand structure and dynamics. The mountain pine beetle: a synthesis of biology, management and impacts on lodgepole pine. *Can. For. Serv., Victoria*, 2006, pp. 94–114.

- [11] Axelson J.N., Alfaro R.I., Hawkes B.C. Influence of fire and mountain pine beetle on the dynamics of lodgepole pine stands in British Columbia, Canada. *Forest Ecology and Management*, 2009, t. 257, no. 9, pp. 1874–1882.
- [12] Kolomiets N.G., Bogdanova D.A. *Bol'shoy elovyy luboed (dendroktion) v sosnovykh lesakh Sibiri* [Large spruce bark beetle (dendroktion) in pine forests of Siberia]. Novosibirsk: Nauka, 1999, 112 p.
- [13] MacLachlan I.R., Andreas H., Pia S., Sally N.A. Selective breeding of lodgepole pine increases growth and maintains climatic adaptation. *Forest Ecology and Management*, 2017, t. 391, pp. 404–416.
- [14] Chang Wei-Yew, Gaston C., Cool J., Thomas B.R. A financial analysis of using improved planting stock of white spruce and lodgepole pine in Alberta, Canada: genomic selection versus traditional breeding. *Forestry: An International J. of Forest Research*, 2019, t. 92, no 3, pp. 297–310. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpz011>.
- [15] Ukrainetz N.K., Mansfield S.D. Prediction accuracy of single-step BLUP for growth and wood quality traits in the lodgepole pine breeding program in British Columbia. *Tree Genetics & Genomes*, 2020, t. 16, pp. 1–13.
- [16] Fries A., Lindgren D. Performance of plus tree progenies of *Pinus contorta* originating north of latitude 55° N in a Swedish trial at 64° N. *Canadian J. of Forest Research*, 1986, no 16(3), pp. 427–437. <https://doi.org/10.1139/x86-079>.
- [17] Ericsson T., Danell Ö., Andersson B. Genetic variation of *Pinus contorta* var. *latifolia* breeding material in Sweden. *Canadian J. of Forest Research*, 1994, t. 24, no 4, pp. 723–729.
- [18] Ericsson T. Lodgepole pine (*Pinus contorta* var. *latifolia*) breeding in Sweden — results and prospects based on early evaluations: Dissertation Swedish University of Agricultural Science. Faculty of Forestry. Dep. Of Forest Genetics and Plant Physiology. Umea, 1994, 325 p, p. 64.
- [19] Elfving B., Ericsson T., Rosvall O. The introduction of lodgepole pine for wood production in Sweden — a review. *Forest ecology and management*, 2001, t. 141, no. 1–2, pp. 15–29.
- [20] Ola E., Sjöberg K., Andersson B., Rosvall Ol., Ågren G.I., Baker W.L., Barklund P., Björkman C., Despain D.G., Elfving B., Ennos R.A., Karlman M., Knecht M.F., Knight D.H., Ledgard N.J., Lindelöw Å., Nilsson C., Peterken G.F., Sörlin S., Sykes M.T. Ecological effects and management aspects of an exotic tree species: the case of lodgepole pine in Sweden. *Forest Ecology and Management*, 2001, t. 141, no. 1–2, pp. 3–13. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00498-9](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00498-9).
- [21] Girgidov D.Ya. *Sosna Murreya. Introduktsiya drevesnykh porod na Severo-Zapade SSSR* [Murray pine. Introduction of tree species in the North-West of the USSR]. Moscow–Leningrad: Goslesbumizdat, 1955, pp. 22–24.
- [22] Girgidov D.Ya. *Sosna Murreya i dub krasnyy v severo-zapadnykh rayonakh SSSR* [Murray pine and red oak in the northwestern regions of the USSR]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry], 1952, no. 7, pp. 8–13.
- [23] Salinyn S.X. *Sosna Murreya i ee kul'tury v Latvyskoy SSR. Issledovaniya o prirode drevesnykh porod* [Murray pine and its crops in the Latvian SSR. Research on the nature of tree species]. Riga: Academy of Sciences of the Latvian SSR, 1964, pp. 83–100.
- [24] Melekhov I.S. *Introduktsiya khvoynykh v lesnom khozyaystve* [Introduction of conifers in forestry]. *Lesovedenie*, 1984, no. 6, pp. 72–78.
- [25] Ilov V.N., Stafeev B.L. *Sosna skruченnaya v plantatsionnykh posadkakh Arkhangel'skoy oblasti. Lesovodstvo, lesorazvedenie, lesnye pol'zovaniya* [Lodgepole pine in plantation plantings of the Arkhangelsk region. Silviculture, afforestation, forest use]. Express-inform. Moscow: CBNTI, 1987, pp. 12–21.
- [26] Mordas' A.A., Raevskiy B.V. *Vskhozhest'semyan i rost sosny skruченnoy v Karelii* [Seed germination and growth of lodgepole pine in Karelia]. *Lesovedenie*, 1992, no. 1, pp. 89–94.
- [27] Raevskiy B.V. *Kul'tury sosny skruченnoy v Karelii* [Lodgepole pine crops in Karelia]. Diss. Cand. Sci. (Agric.). St. Petersburg, 1992. 25 p.
- [28] Kishchenko I.T. *Urozhaynost'shishek i zhiznesposobnost'semyan u nekotorykh predstaviteley semeystva Pinaceae pri introduktsii v Karelii* [Cone yield and seed viability in some representatives of the Pinaceae family during introduction in Karelia]. *Rastitel'nye resursy* [Plant resources], 1999, no. 2, pp. 32–37.
- [29] Markov I.A., Zhigunov A.V. *Lesokul'turnye ispytaniya perspektivnykh porod-introduktsentov na Severo-zapade Rossii* [Silvicultural testing of promising introduced species in the North-West of Russia]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [Bulletin of the St. Petersburg Forest Engineering Academy], 1999, iss. 165, pp. 20–28.
- [30] Alekseev V.M., Zhigunov A.V., Bondarenko A.S., Burtsev D.S. *Introduktsiya sosny skruченnoy v usloviyakh Leningradskoy oblasti* [Introduction of lodgepole pine in the Leningrad region]. *Russian Forestry J.*, 2014, no. 3 (339), pp. 24–33.
- [31] Plyusnina S.N., Fedorkov A.L., Gulyaev R.G. *Struktura khvoi sosny skruченnoy Pinus contorta Dougl. i sosny obyknovennoy Pinus sylvestris L. v eksperimental'nykh kul'turakh* [Needle structure of *Pinus contorta* Dougl. and *Pinus sylvestris* L. in experimental cultures]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2024, vol. 28, no. 1, pp. 46–55. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-1-46-55
- [32] Osipenko A.E., Zalesov S.V. *Obespechennost' podrostom sosnovykh nasazhdeniy AltaeNovosibirskogo rayona lesostepey i lentochnykh borov* [Young pine plantations availability in Altai-Novosibirsk region of forest-steppes and ribbon forests]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2024, vol. 28, no. 3, pp. 15–25. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-3-15-25
- [33] Demidova N.A., Durkina T.M., Gogoleva L.G. *Semenoshenie sosny skruченnoy shirokokhvoynoy (Pinus contorta Dougl. Ex Loud. Var. Latifolia Engelm. Ex Wats) v Arkhangel'skoy oblasti* [Seed production of lodgepole pine (*Pinus contorta* Dougl. Ex Loud. Var. *Latifolia* Engelm. Ex Wats) in the Arkhangelsk region]. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya* [Forestry information], 2017, no. 2, pp. 65–77.
- [34] Fedorkov A. Variation in shoot elongation patterns in *Pinus contorta* and *Pinus sylvestris* in north-west Russia. *Scandinavian J. of Forest research*, 2010, no. 25, pp. 208–212.

- [35] Fedorkov A.L. *Izmenchivost' adaptivnykh priznakov khvoynykh v usloviyakh stressa na Severe Evropy* [Variability of adaptive traits of conifers under stress in Northern Europe]. Diss. Dr. Sci. (Biological), 03.02.08. Moscow, 2011, 239 p.
- [36] Gutiy L.N., Fedorkov A.L. *Sostoyanie i rost eksperimental'nykh kul'tur sosny skruchennoy v Respublike Komi* [State and growth of experimental cultures of lodgepole pine in the Komi Republic]. *Lesovedenie*, 2016, no. 4, pp. 265–269.
- [37] Fedorkov A.L., Gutiy L.N. *Sostoyanie eksperimental'nykh kul'tur sosny skruchennoy v Respublike Komi* [The state of experimental cultures of lodgepole pine in the Komi Republic]. *Vestnik instituta biologii Komi nauchnogo tsentra Ural'skogo otdeleniya RAN* [Bulletin of the Institute of Biology of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences], 2017, no. 2 (200), pp. 25–31.
- [38] Fedorkov A., Gutiy L. Performance of lodgepole pine and Scots pine in field trials located in north-west Russia // *Silva Fennica*, 2017, t. 51, no. 1.
- [39] Pristova T.A., Fedorkov A.L. *Elementnyy sostav Pinus contorta Dougl. i Pinus sylvestris L. v eksperimental'nykh kul'turakh Syktyvskarskogo lesnichestva Respubliki Komi* [Elemental composition of *Pinus contorta* Dougl. and *Pinus sylvestris* L. in experimental cultures of the Syktyvkar forestry of the Komi Republic]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [News of the St. Petersburg Forestry Academy], 2023, no. 245, pp. 55–70.
- [40] Gryaz'kin A.V., Gribov S.E., Korchagov S.A., Chan Ch.T., Vu V.Kh., Dang V.Kh. *Prizhivaemost' i sokhrannost' lesnykh kul'tur na fone uspehnogo estestvennogo vozobnovleniya sosny i eli* [Survival and preservation of forest crops against the background of successful natural regeneration of pine and spruce]. *Aktual'nye problemy razvitiya lesnogo kompleksa. Materialy XVIII Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Actual problems of forest complex development. Proceedings of the XVIII International Scientific and Technical Conference], Vologda, December 01, 2020. Vologda: Vologda State University, 2020, pp. 26–29.
- [41] Demidova N.A., Durkina T.M., Gogoleva L.G., Demidenko S.A., Bykov Yu.S., Paramonova A.A. *Rost i razvitie sosny skruchennoy (Pinus contorta Loud. var. Latifolia S. Wats) v usloviyakh severnoy taygi* [Growth and development of lodgepole pine (*Pinus contorta* Loud. var. *Latifolia* S. Wats) in the northern taiga]. *Tr. Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo khozyaystva* [Proceedings of the St. Petersburg Forestry Research Institute. SPbNILH], 2016, no. 2, pp. 45–59.
- [42] Andronova M.M., Babich N.A., Khamitov R.S. *Stupenchataya introduktsiya drevesnykh rasteniy na severe Russkoy ravniny* [Stepwise introduction of woody plants in the north of the Russian Plain]. Arkhangelsk: Publishing house of NArFU, 2021, 412 p.
- [43] Tarakanov V.V., Demidenko V.P., Ishutin Ya.N., Bushkov N.T. *Selektsionnoe semenovodstvo sosny obyknovnoy v Sibiri* [Selection seed production of Scots pine in Siberia]. Novosibirsk: Nauka, 2001, 230 p.
- [44] Tarakanov V.V., Fedorkov A.L., Kuz'mina T.V., Avdonina A.N. *Vskhozhest'semyan i rost seyantsev severoamerikanskogo vida Pinus contorta Dougl. v Yuzhnoy Sibiri* [Seed germination and seedling growth of the North American species *Pinus contorta* Dougl. in Southern Siberia]. *Rastitel'nyy mir Severnoy Azii: problemy izucheniya i sokhraneniya bioraznootbraziya: mater. vseross. konf. [Flora of Northern Asia: problems of studying and preserving biodiversity. Proc. All-Russian Conf.]*. Novosibirsk, October 1–3, 2013. Novosibirsk: Central Siberian Botanical Garden of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2013, pp. 133–135.
- [45] *Lesosemennoe rayonirovanie osnovnykh lesoobrazuyushchikh porod v SSSR* [Forest seed zoning of the main forest-forming species in the USSR]. Moscow: Lesnaya Prom-st' [Forest industry], 1982, 368 p.
- [46] Tarakanov V.V., Kal'chenko L.I. *Feneticheskiy analiz klonovykh i estestvennykh populyatsiy sosny v Altayskom krae* [Phenetic analysis of clonal and natural pine populations in the Altai Territory]. Novosibirsk: Geo, 2015, 107 p.
- [47] Tarakanov V.V., Dubovik D.S., Rogovtsev R.V., Zatsepina K.G., Bugakov A.V., Goncharova T.V. *Sostoyanie i perspektivy razvitiya genetiko-selektsionnogo kompleksa khvoynykh porod v Sibiri (na primere Novosibirskoy oblasti)* [State and prospects for the development of the genetic and selection complex of coniferous species in Siberia (on the example of the Novosibirsk region)]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie* [Bulletin of the Volga State Technological University. Series: Forest. Ecology. Nature Management], 2019, no. 3 (43), pp. 5–24. DOI: 10.25686/2306-2827.2019.3.5
- [48] Goncharova T.V., Tarakanov V.V., Borodintseva L.I., Nozdrenko Ya.V. *Vliyanie nasekomykh konobiontov na razmer shishek na klonovykh plantatsiyakh sosny v Altayskom krae* [The influence of conobiont insects on the size of cones on clonal pine plantations in the Altai Territory]. *Agrarnaya nauka — sel'skomu khozyaystvu: sbornik materialov XVII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Agrarian science — to agriculture. Collection of materials of the XVII International scientific and practical conference], in 2 books. Barnaul, 2022, 467 p.
- [49] Shvidenko A.Z., Shchepashchenko D.G., Nil'son S., Buluy Yu.I. *Tablitsy i modeli khoda rosta i produktivnosti nasazhdeniy osnovnykh lesoobrazuyushchikh porod Severnoy Evrazii (normativno-spravochnye materialy)* [Tables and models of the growth and productivity of plantations of the main forest-forming species of Northern Eurasia (normative and reference materials)]. Moscow: Rosleskhoz, 2008, 886 p.

This work was supported by the FRC KSC SB RAS R&D base project FWES-2024-0028/124012900557-0 «Biodiversity of Siberian Forests: Ecological-dynamic, Genetic-breeding, Physicochemical, and Resource-Technical Aspects».

Acknowledgments

The authors thank the management of the Altai Region Forestry Department, represented by S.D. Samsonenko, V.A. Chernykh, and A.N. Strelkovsky; the director of the Altai Forest Breeding and Seed Center, V.V. Bubenshchikov; the head of the forest relations department for the Ozerskoye forestry, S.A. Andrushko; the foreman of the Ozerskoye nursery, A.M. Besedovsky; and senior researcher of the West Siberian Branch of the IL SB RAS — branch of the FRC KSC SB RAS, Yu.N. Ilycheva, as well as the students of the Novosibirsk State Agrarian University who participated in the planting. We are especially grateful to S.N. Goroshkevich, who drew our attention to the valuable properties and the possibility of introducing this exotic plant to Western Siberia.

Authors' information

Borodintseva Lyudmila Ivanovna  — Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, West Siberian Branch of the Sukachev Institute of Forest SB RAS — Branch of the Federal Research Center «Krasnoyarsk Science Center», altay-lss@yandex.ru

Tarakanov Vyacheslav Veniaminovich — Dr. Sci. (Agriculture), Chief Researcher, Head of the Laboratory of Forest Genetic Resources, West Siberian Branch of the Sukachev Institute of Forest SB RAS — Branch of the Federal Research Center «Krasnoyarsk Science Center», tarh012@mail.ru

Fedorkov Aleksey Leonardovich — Dr. Sci. (Biology), Leading Researcher of the Federal State Budgetary Scientific Institution of the Institute of Biology of the Federal Research Center of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, fedorkov@ib.komisc.ru

Bright-Goncharova Tatyana Vladimirovna — Head of the Department of the Branch of FBU «Roslesozaschita» — Forest Protection Center of the Novosibirsk Region; Senior Lecturer of the Novosibirsk State Agrarian University, tato4ka0909@mail.ru

Received 29.05.2025.

Approved after review 07.08.2025.

Accepted for publication 01.09.2025.

Вклад авторов: все авторы в равной доле участвовали в написании статьи

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article

The authors declare that there is no conflict of interest

ЭНДОГЕННАЯ И ИНДИВИДУАЛЬНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ШИШЕК СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*PINUS SYLVESTRIS* L.)

В.А. Брынцев

ФГБУН «Главный ботанический сад имени Н.В. Цицина Российской академии наук» (ГБС РАН), Россия, 127276, Москва, ул. Ботаническая, д. 4

bryntsev@mail.ru

Приведен анализ эндогенной и индивидуальной изменчивости морфологических признаков шишек сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), проведенный по результатам изучения таких линейных количественных показателей, как: длина и ширина шишки в закрытом и открытом состоянии, длина семенных чешуй, длина, ширина и толщина щитка, длина и ширина пупка. Приведены результаты изучения качественных признаков шишек по форме щитка (апофиза). Представлены материалы изучения относительных показателей формы шишек и их частей (семенных чешуй, щитков, пупков). Показана зависимость уровня эндогенной изменчивости относительных показателей от уровня изменчивости линейных показателей и от степени корреляции линейных показателей. Установлен преимущественно низкий уровень эндогенной и индивидуальной изменчивости количественных признаков шишек, что указывает на возможность их использования для оценки групповой изменчивости. Выявлено преимущество относительных количественных показателей шишек для изучения групповой изменчивости, они косвенно характеризуют форму шишек и ее частей и отражают внутренние корреляции между линейными признаками. Определено варьирование эндогенной изменчивости формы щитка (апофиза) от среднего до очень высокого уровня, а индивидуальной — от повышенного до очень высокого уровня. Рекомендуется не использовать форму щитка (апофиза) для оценки групповой изменчивости.

Ключевые слова: эндогенная изменчивость, индивидуальная изменчивость, морфология шишек, сосна обыкновенная

Ссылка для цитирования: Брынцев В.А. Эндогенная и индивидуальная изменчивость морфометрических показателей шишек сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2025. Т. 29. № 5. С. 62–74. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-5-62-74

Род сосна (*Pinus*) в семействе сосновые (*Pinaceae*) [1] — один из самых больших родов, насчитывающий более 100 видов. Филогенетически он относится к сложно структурированным видам и подразделяется на 2 подрода, 4 секции, 11 подсекций [2]. Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) имеет наибольший видовой ареал среди сосен и обладает сложной внутривидовой структурой (имеет подвиды, разновидности, экотипы, формы) [3–8].

Достаточно большое количество литературных трудов посвящено молекулярно-генетическим исследованиям рода *Pinus*, в том числе филогении [2, 9–12], а также изучению его подродов, секций, подсекций [13] и внутривидовой генетической дифференциации отдельных видов [14–16]. Однако часто генетические филогении не полностью соответствуют одна другой, что можно объяснить генетическим обменом между видами (в частности древней и

современной гибридизацией) [17, 18]. В связи с этим проведение морфологического сравнительного анализа, как на меж-, так и на внутривидовом уровне, сохраняет свою актуальность и в настоящее время [19–21]. Особенную ценность морфологические закономерности имеют для палеоботаники, поскольку генетические исследования в этой области практически невозможны [22, 23].

К. Линей [24], разрабатывая систематику растений, опирался в первую очередь на морфологические признаки генеративных органов, которые, в отличие от органов вегетативных, отличаются большей стабильностью и консервативностью. Развитие систематики подтвердило правильность этого направления. Морфология генеративных органов стала широко использоваться не только в межвидовой систематике, но и для выделения внутривидовых таксонов (подвидов и разновидностей), а также для характеристики и выделения популяций [25–27].

Генеративные органы сосен, которые рассматривает сравнительная морфология, это

микростробилы и пыльца, макростробилы в период формирования и опыления, озимь и зрелые шишки и семена. Все они важны и интересны для изучения, однако в качестве объектов исследования зрелые шишки сосен имеют некоторые методические и морфологические преимущества. Шишки имеют деревянистую чешую и сохраняются достаточно долго, что позволяет выполнять их тщательное и методическое изучение и сохранять в коллекциях. Более сложное строение шишек сосен (*Pinus*), по сравнению с другими видами семейства сосновые (*Pinaceae*) [28–32] обусловило высокое морфологическое разнообразие шишек сосен, поэтому их можно использовать как для межвидовой систематики, так и для анализа внутривидовой изменчивости.

Шишки сосен представляют собой сложно-составной женский генеративный орган. Собственно генеративными органами являются семенные чешуи с семенами. Семенные чешуи расположены в пазухах кроющих чешуй на оси шишки по генетической спирали и сближены между собой. Смыкаясь, они защищают семена в период развития и после их созревания. Несмотря на то, что шишка состоит из отдельных метамеров, она представляет собой единое целое, а ее форма — следствие множественных корреляций при морфогенезе. Шишки сосен — важный объект для изучения при внутривидовой и межвидовой систематике.

Морфологическую оценку шишек можно проводить двумя принципиально различными методами: 1) на основе формирования единого образа (гештальта) шишки в целом и его частей (образный); 2) используя морфометрическую оценку признаков (морфометрический).

1. Способность формирования гештальта приобретает опытным путем в ходе длительной работы с изменчивым растительным материалом (желательно под патронажем опытного руководителя). Качественные признаки, присутствующие тому или иному виду, очень помогают выполнять данную оценку. Так, у сосны горной (*Pinus mugo*) на щитке шишки и вокруг пупка, как правило, имеется тонкая темная полоска вследствие выделившейся смолы; шишки сосны китайской (*P. tabuliformis*) отличает имеющийся шип, направленный к вершине чешуйки. У сосны смолистой (*P. resinosa*) шип обычно полностью отсутствует. Такие признаки-маркеры наряду с общим образом шишки и ее частей позволяют правильно определять вид.

Образная оценка — это не просто оценка по качественным признакам, которые являются лишь реперами перехода к единому цельному образу, различению, узнаванию, отнесению

объекта к той или иной группе. В образе обязательно должны сочетаться изоморфизм (характерная устойчивая форма целого, в сочетании с формой его частей) и полиморфизм (учет возможного диапазона изменчивости форм).

Анализируя образ шишки, можно выделить следующие образы: шишки в целом; семенной чешуи; апофиза; пупка и шипа на нем. Образный анализ имеет важное значение, поскольку многие характеристики формы достаточно легко узнаются и запоминаются, однако плохо формализуются, их трудно выразить размерными показателями. Данный метод наиболее эффективен на уровне различения видов и морфологических форм, но не очень подходит для применения на внутривидовом межпопуляционном и внутривидовом уровне.

2. Морфометрическая оценка объективнее по сравнению с образным методом, однако не всегда приводит к верному результату, что связано с варьированием количественных признаков, а главное, с перекрытием распределений показателей признаков у разных групп растений [33]. Для оценки больший интерес представляют относительные показатели, которые, в отличие от абсолютных линейных размеров, характеризуют форму шишек, семенных чешуй, их щитков и пупков. Морфометрические показатели формы (относительные показатели) можно обрабатывать статистически. Данный метод применим как на межвидовом, так и на внутривидовом уровне, хотя на межвидовом уровне целесообразнее сочетание и образного, и морфометрического методов.

В работе [34] описаны формы изменчивости, послужившие основой для наших разработок. Для шишек, как метамерных органов можно выделить следующие формы изменчивости: а) эндогенную (метамерную) — в пределах одного дерева; б) индивидуальную — между отдельными деревьями в той или иной группе; в) групповую — между группами деревьев, выделяемых исследователем на определенных основаниях (группы деревьев разного возраста и сексуализации, семьи, популяции, экотипы, климатипы, разновидности, подвиды, виды и др.). Причем группы часто состоят из перекрывающихся подгрупп [33].

Изучение того или иного признака должно начинаться с изучения эндогенной изменчивости [34]. При высоком уровне эндогенной изменчивости признак не может быть использован ни для целей систематики, ни для целей селекции. Если эндогенная изменчивость достаточно низкая, переходят к изучению индивидуальной изменчивости. Она исследуется в однородных по полу и возрасту группах,

относящихся к одной популяции, растущих в сходных экологических условиях. При высокой индивидуальной изменчивости признака, но низкой эндогенной изменчивости, его можно использовать только для оценки формового разнообразия и индивидуального отбора при селекции, однако для оценки групповой изменчивости он не применим. В случае низкого уровня эндогенной и индивидуальной изменчивости признака его используют для оценки различных групп растений, а также применяют в систематике и групповом отборе.

Несмотря на то, что изучение шишек сосен, в том числе сосны обыкновенной (*P. sylvestris*), проводится издавна, данные об эндогенной изменчивости их признаков в литературных источниках достаточно скудные. Из морфометрических признаков детальному исследованию подверглась только эндогенная изменчивость длины шишек [4], проводились исследования индивидуальной и групповой изменчивости форм апофиза (щитка семенной чешуйки) и корреляционных связей этих форм с характеристиками деревьев [35, 36]. Однако данные по эндогенной изменчивости форм апофиза никем из авторов не приводились. В связи с этим требуется более детальное изучение эндогенной и индивидуальной изменчивости различных признаков шишек сосны обыкновенной в однородных группах.

Цель работы

Цель работы — исследование и анализ эндогенной и индивидуальной изменчивости морфологических и морфометрических признаков шишек сосны обыкновенной, выделение инвариантных (наименее изменчивых) на эндогенном и индивидуальном уровнях признаков, которые можно было бы использовать для характеристики групповой внутривидовой и межвидовой изменчивости.

Объекты и методы исследования

Для исследования внутривидовой индивидуальной и эндогенной изменчивости были собраны зрелые неповрежденные шишки сосны обыкновенной с 11 упавших при ветровале 2018 г. деревьев, от 30 до 37 шишек с каждого дерева, на территории Мытищинского лесопарка Национального парка «Лосиный остров». Все деревья были V класса возраста (80...90 лет).

Шишки были пронумерованы с помощью тонких металлических бирок. Измерения размерных показателей проводилось с помощью электронного штангенциркуля. В открытом

состоянии были измерены ширина и длина шишки, длина чешуйки, длина и ширина щитка, толщина щитка с пупком, длина и ширина пупка. После снятия всех показателей в открытом состоянии шишки помещались во влажную среду в герметичный полиэтиленовый пакет на 12 ч для смыкания чешуй на шишке. В закрытом состоянии измерялась ширина шишки и подсчитывалось количество чешуек. Ширина шишки в открытом и закрытом состоянии измерялась в самом широком месте.

На закрытой шишке подсчитывалось количество чешуй методом определения количества парастих и подсчета количества чешуй в одной парастихе. Парастиха — многоходовой винтовой ряд чешуек, хорошо различимый на шишке [37]. На одной шишке, как правило, можно четко выделить пяти- и восьмирядную парастихи. В настоящем исследовании чаще всего использовалась пятирядная парастиха. Для определения количества чешуй в шишке количество парастих умножали на количество чешуй в одной парастихе.

По количеству чешуй в шишке и ее длине, подсчитывался коэффициент плотности чешуй

$$K = \frac{n}{L},$$

где K — коэффициент плотности чешуй, шт./мм;

n — количество чешуй в шишке, шт.;

L — длина шишки, мм.

Форма для открытой и закрытой шишки определялась как отношение длины шишки к ее ширине.

После изучения размеров шишки в целом отдельно изучались семенные чешуйки (рисунок).

На каждой шишке в средней ее части с разных сторон были выбраны три чешуи, их поместили маркером. Были определены их размерные параметры: длина чешуи, длина, ширина и толщина щитка (вместе с пупком), длина и ширина пупка. Данные по каждой шишке усреднялись.

На основании измерений подсчитывались относительные показатели семенных чешуй. Форма щитка $F_{щ}$ была определена по формуле

$$F_{щ} = \frac{b}{c},$$

где b — длина щитка, мм;

c — ширина щитка, мм.

Форма пупка $F_{п}$ определялась по формуле

$$F_{п} = \frac{e}{f},$$

где e — длина пупка, мм;

f — ширина пупка, мм.

Относительная длина чешуйки $A_{\text{отн}}$ рассчитана по формуле

$$A_{\text{отн}} = \frac{a}{b},$$

где a — длина чешуйки, мм;

b — длина щитка, мм.

Определение формы чешуйки $F_{\text{ч}}$ производилось по формуле

$$F_{\text{ч}} = \frac{a}{c},$$

где c — ширина щитка, мм.

Типы апофизов определялись визуально в процентах. Сначала делили на плоский и выпуклый типы, внося данные в таблицу. Затем выпуклый подразделяли на два типа: выпуклый прямой и выпуклый загнутый. Загнутые, в свою очередь, делили на загнутый к основанию чешуйки и загнутый к вершинке чешуйки.

Были проведены обмеры 368 шишек с 11 деревьев и 1104 семенных чешуй по 11 параметрам, рассчитано 14 относительных параметров.

Статистическая обработка полученных данных по шишкам в пределах каждого дерева и между деревьями проводилась на компьютере в программе Excel.

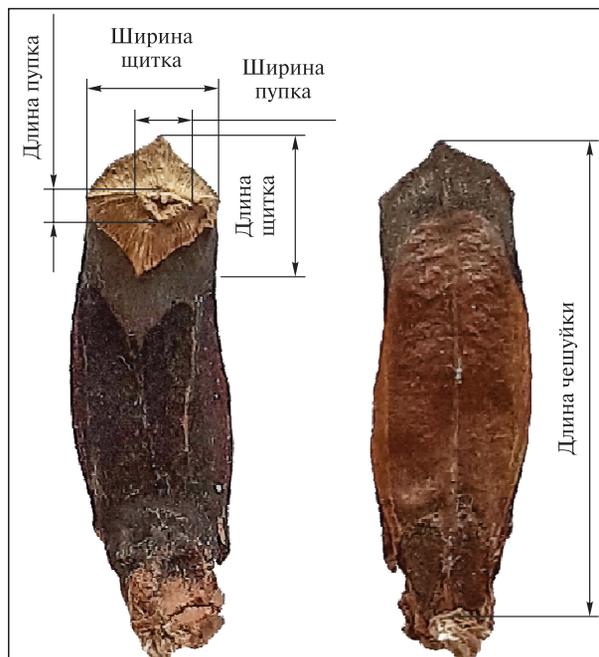
Оценку изменчивости признаков проводили по коэффициенту вариации, уровень изменчивости определяли по эмпирической шкале уровней изменчивости признаков С.А. Мамаева [34] (табл. 1). Для наглядности разные уровни изменчивости выделены разными цветами.

Результаты и обсуждение

По каждому из деревьев приведены длина шишки, ширина открытой и закрытой шишки, количество чешуй в шишке и среднее значение этих признаков для всех деревьев. Коэффициент вариации каждого дерева характеризует эндогенную изменчивость признака, а всех деревьев вместе — изменчивость индивидуальную.

Анализ приведенных в табл. 2 данных показал, что эндогенная изменчивость длины и ширины шишек имела преимущественно низкий уровень. У двух деревьев по длине и ширине открытой шишки наблюдался средний уровень изменчивости на нижней его границе (V — 13...14 %). По количеству чешуй в шишке уже 3 дерева из 11 имели средний уровень изменчивости, у дерева 2 коэффициент вариации доходил до 15 %.

Показатели индивидуальной изменчивости были на низком уровне у длины шишек (V — 11 %), ширины открытых и закрытых шишек (V — 8 %) и на нижней границе среднего уровня



Параметры измерения семенных чешуй сосны обыкновенной

Measurement parameters of the seed scales of the common pine

по количеству чешуй в шишке (V — 13 %). Это свидетельствует о том, что длина и ширина шишек в закрытом и открытом состоянии достаточно стабильные признаки, поскольку их эндогенная и индивидуальная изменчивость находятся на достаточно низком уровне и их можно использовать при изучении различных видов групповой изменчивости. Количество чешуй в шишке — признак более вариабельный, необходимость применения которого, для изучения групповой изменчивости должна решаться в каждом конкретном случае.

При определении формы закрытой и открытой шишки находили отношение длины шишки к ее ширине, соответственно, в закрытом и открытом состоянии. Коэффициент плотности чешуй в шишке вычисляли путем деления количества чешуй в шишке на длину шишки. Чем больше коэффициент плотности чешуй, тем плотнее располагаются чешуи в шишке.

Эндогенная изменчивость относительных показателей формы закрытой и открытой шишки (табл. 3) характеризуется низким и очень низким уровнем.

Показатель индивидуальной изменчивости форм закрытой и открытой шишек составил соответственно 9 (низкий уровень) и 7 % (очень низкий уровень). Данные относительные признаки можно использовать для оценки межгрупповой изменчивости.

Т а б л и ц а 1

Шкала уровней изменчивости признаков
Scale of variability levels

Уровень изменчивости	Очень низкий	Низкий	Средний	Повышенный	Высокий	Очень высокий
Коэффициент вариации V , %	≤ 7	8...12	13...20	21...30	31...40	>40

Т а б л и ц а 2

Морфометрические характеристики шишек
Morphometric characteristics of cones

Номер дерева	Длина шишки, мм		Ширина открытой шишки, мм		Ширина закрытой шишки, мм		Количество чешуй в шишке, шт.	
	$M \pm m$	V , %	$M \pm m$	V , %	$M \pm m$	V , %	$M \pm m$	V , %
1	36,0 ± 0,5	8	40,4 ± 0,6	9	23,4 ± 0,3	8	65,5 ± 1,4	13
2	29,8 ± 0,6	12	33,3 ± 0,6	11	20,5 ± 0,3	9	43,7 ± 1,1	15
3	35,2 ± 0,7	12	41,8 ± 0,6	8	21,6 ± 0,3	7	46,5 ± 0,6	8
4	41,7 ± 0,6	8	42,3 ± 0,5	8	21,7 ± 0,2	7	49,7 ± 0,8	10
5	36,8 ± 0,6	10	37,7 ± 0,7	10	20,6 ± 0,3	9	55,6 ± 1,0	10
6	34,1 ± 0,8	13	35,6 ± 0,8	13	18,9 ± 0,3	8	54,0 ± 1,1	11
7	41,8 ± 0,6	8	42,6 ± 0,4	6	22,3 ± 0,3	8	63,0 ± 0,9	8
8	35,6 ± 0,8	13	36,4 ± 0,9	14	18,1 ± 0,4	12	53,2 ± 1,3	14
9	40,2 ± 0,9	12	37,0 ± 0,7	10	22,2 ± 0,4	10	50,3 ± 1,0	11
10	34,3 ± 0,7	12	37,2 ± 0,6	8	19,7 ± 0,3	9	59,1 ± 0,9	8
11	42,9 ± 0,8	10	41,8 ± 0,6	8	22,7 ± 0,4	11	61,8 ± 0,9	8
Среднее по деревьям	37,1 ± 1,2	11	38,7 ± 1,0	8	21,1 ± 0,5	8	54,8 ± 2,1	13

Примечание. Здесь и в табл. 2–7: M — среднее арифметическое; m — ошибка средней; V — коэффициент вариации.

Т а б л и ц а 3

Относительные показатели шишек
Relative characteristics of cones

Номер дерева	Форма закрытой шишки		Форма открытой шишки		Коэффициент плотности чешуй, шт./мм	
	$M \pm m$	V , %	$M \pm m$	V , %	$M \pm m$	V , %
1	1,6 ± 0,02	10	0,9 ± 0,01	6	1,8 ± 0,04	13
2	1,5 ± 0,02	10	0,9 ± 0,01	8	1,5 ± 0,03	12
3	1,6 ± 0,03	10	0,8 ± 0,01	9	1,3 ± 0,02	10
4	1,9 ± 0,02	5	1,0 ± 0,01	5	1,2 ± 0,01	6
5	1,8 ± 0,02	6	1,0 ± 0,01	7	1,5 ± 0,02	8
6	1,8 ± 0,03	9	1,0 ± 0,01	7	1,6 ± 0,03	10
7	1,9 ± 0,02	5	1,0 ± 0,01	5	1,5 ± 0,03	10
8	2,0 ± 0,02	6	1,0 ± 0,01	4	1,5 ± 0,02	6
9	1,8 ± 0,02	7	1,1 ± 0,01	7	1,3 ± 0,02	8
10	1,7 ± 0,02	7	0,9 ± 0,01	6	1,7 ± 0,03	11
11	1,9 ± 0,02	5	1,0 ± 0,01	7	1,5 ± 0,02	7
Среднее по деревьям	1,8 ± 0,05	9	1,0 ± 0,02	7	1,5 ± 0,06	13

Т а б л и ц а 4

Морфометрические характеристики щитков семенных чешуй
Morphometric characteristics of seed scales apophyses

Номер дерева	Длина щитка, мм (<i>b</i>)		Ширина щитка, мм (<i>c</i>)		Толщина щитка, мм (<i>d</i>)	
	$M \pm m$	$V, \%$	$M \pm m$	$V, \%$	$M \pm m$	$V, \%$
1	7,9 ± 0,2	12	7,1 ± 0,1	5	3,0 ± 0,13	26
2	7,6 ± 0,1	10	8,6 ± 0,1	9	2,4 ± 0,06	15
3	8,7 ± 0,2	10	7,8 ± 0,1	7	2,4 ± 0,04	10
4	7,6 ± 0,1	11	7,9 ± 0,1	5	2,2 ± 0,03	8
5	6,7 ± 0,1	10	7,3 ± 0,1	7	2,2 ± 0,04	11
6	6,6 ± 0,1	10	7,2 ± 0,1	9	2,5 ± 0,06	13
7	7,4 ± 0,1	11	8,0 ± 0,1	7	2,1 ± 0,03	7
8	7,2 ± 0,1	8	6,5 ± 0,1	8	2,2 ± 0,04	10
9	8,0 ± 0,1	8	8,5 ± 0,1	7	2,2 ± 0,04	10
10	6,6 ± 0,1	7	6,7 ± 0,1	8	2,0 ± 0,03	8
11	8,8 ± 0,1	6	8,0 ± 0,1	6	3,2 ± 0,10	18
Среднее по деревьям	7,6 ± 0,2	10	7,6 ± 0,2	9	2,4 ± 0,11	15

Т а б л и ц а 5

Морфометрические характеристики семенной чешуи и пупка
Morphometric characteristics of seed scales and umbo

Номер дерева	Длина чешуйки, мм (<i>a</i>)		Длина пупка, мм		Ширина пупка, мм	
	$M \pm m$	$V, \%$	$M \pm m$	$V, \%$	$M \pm m$	$V, \%$
1	14,5 ± 0,3	11	1,6 ± 0,02	9	2,4 ± 0,04	10
2	14,2 ± 0,3	14	1,8 ± 0,03	10	3,0 ± 0,05	10
3	18,3 ± 0,3	8	1,6 ± 0,02	6	2,8 ± 0,03	7
4	18,5 ± 0,3	9	1,5 ± 0,02	7	2,6 ± 0,03	7
5	16,4 ± 0,3	9	1,6 ± 0,03	10	2,7 ± 0,04	9
6	16,3 ± 0,4	13	1,7 ± 0,02	8	2,7 ± 0,04	7
7	17,7 ± 0,2	7	1,5 ± 0,02	8	2,6 ± 0,03	7
8	16,5 ± 0,4	12	1,8 ± 0,03	8	2,9 ± 0,03	7
9	17,0 ± 0,3	11	1,7 ± 0,02	8	2,8 ± 0,03	7
10	16,6 ± 0,2	8	1,4 ± 0,02	9	2,3 ± 0,03	6
11	19,8 ± 0,3	7	1,6 ± 0,02	6	2,5 ± 0,05	12
Среднее по деревьям	16,9 ± 0,5	10	1,6 ± 0,04	8	2,7 ± 0,06	7

Эндогенная изменчивость коэффициента плотности чешуй несколько выше, чем у форм шишек, но в основном на низком уровне, у трех деревьев — на очень низком и у одного — на нижнем пределе среднего уровня.

Индивидуальная изменчивость находится на нижнем пределе среднего уровня — 13 %. Хотя этот признак несколько более вариабелен как по эндогенной изменчивости некоторых деревьев, так и по индивидуальной изменчивости, его можно применять для оценки межгрупповой изменчивости.

В работе [4] исходя из отношения длины шишек к их ширине выделены следующие формы шишек:

– продолговатая (отношение длины к ширине 2,5/3,0);

– широкая (2,0/2,5);

– яйцевидная (1,5/2,0);

– круглая (1,0/1,5).

В наших исследованиях установлена яйцевидная форма у закрытых шишек, а круглая — у открытых шишек. По форме шишек (отношение длины к ширине шишки) различали близкие виды сосен *Pinus halepensis* Mill. и *P. brutia* Ten. в местах их симпатрического произрастания в пределах Греции [38].

Кроме изучения размеров и формы шишек в целом большой интерес вызывает изучение строения их семенных чешуй.

Т а б л и ц а 6

Относительные показатели семенных чешуй

Relative characteristics of seed scales

Номер дерева	Относительная длина чешуйки		Форма чешуйки		Форма щитка		Форма пупка	
	$M \pm m$	$V, \%$	$M \pm m$	$V, \%$	$M \pm m$	$V, \%$	$M \pm m$	$V, \%$
1	1,8 ± 0,04	12	2,0 ± 0,04	11	1,1 ± 0,02	10	0,66 ± 0,01	11
2	1,9 ± 0,04	12	1,7 ± 0,04	14	0,9 ± 0,02	10	0,61 ± 0,01	14
3	2,1 ± 0,03	8	2,4 ± 0,03	8	1,1 ± 0,02	10	0,59 ± 0,01	8
4	2,5 ± 0,04	11	2,4 ± 0,03	8	1,0 ± 0,02	11	0,55 ± 0,01	8
5	2,5 ± 0,05	11	2,3 ± 0,03	8	0,9 ± 0,02	9	0,59 ± 0,01	11
6	2,5 ± 0,04	9	2,3 ± 0,03	8	0,9 ± 0,01	7	0,63 ± 0,01	9
7	2,4 ± 0,04	9	2,2 ± 0,03	8	0,9 ± 0,02	11	0,59 ± 0,01	10
8	2,3 ± 0,05	12	2,6 ± 0,04	9	1,1 ± 0,02	9	0,62 ± 0,01	8
9	2,1 ± 0,04	10	2,0 ± 0,04	11	1,0 ± 0,02	9	0,60 ± 0,01	9
10	2,5 ± 0,03	6	2,5 ± 0,03	8	1,0 ± 0,02	9	0,61 ± 0,01	9
11	2,3 ± 0,03	8	2,5 ± 0,03	6	1,1 ± 0,01	5	0,64 ± 0,02	14
Среднее по деревьям	2,3 ± 0,07	11	2,2 ± 0,08	12	1,0 ± 0,03	9	0,61 ± 0,01	5

Из данных, приведенных в табл. 4 и 5, видно, что эндогенная и индивидуальная изменчивость таких признаков, как длина и ширина щитка, длина и ширина пупка соответствовала низкому и очень низкому уровню. По длине чешуек, уровень эндогенной изменчивости очень низкий, низкий и средний (на нижнем пределе), индивидуальной изменчивости — низкий. Отсюда следует, что данные признаки можно использовать для оценки межгрупповой изменчивости.

В отличие от указанных выше признаков уровень эндогенной изменчивости по признаку толщины щитка у разных деревьев сильно различался. У некоторых деревьев он был низкий и очень низкий, у других — средний и даже повышенный. Высокий уровень изменчивости был, как правило, у тех деревьев, которые отличались высокими средними показателями толщины щитка. Индивидуальная изменчивость этого признака также была на среднем уровне. Эти результаты свидетельствуют о том, что данный признак нельзя рекомендовать для оценки межгрупповой изменчивости у сосны обыкновенной.

На основании линейных показателей семенных чешуй для каждой чешуйки были определены относительные показатели. Формы щитка и пупка определялись отношением их длины к ширине, относительная длина чешуйки — отношением длины чешуйки к длине щитка, характеризующим форму чешуйки.

По данным, представленным в табл. 6 эндогенная изменчивость относительных показателей семенных чешуй преимущественно

низкого уровня. У отдельных деревьев уровень очень низкий, у двух деревьев некоторые показатели имеют средний уровень, однако он близок его нижнему пределу. Индивидуальная изменчивость всех относительных показателей семенных чешуй находится на низком и очень низком уровне, поэтому данные относительные показатели можно использовать для оценки межгрупповой изменчивости.

Некоторые исследователи широко изучали форму семенных чешуй (апофизов) [4, 35, 36] как плоских, так и выпуклых, причем выпуклые щитки могут быть выпуклыми прямыми и выпуклыми загнутыми к вершине чешуйки или ее основанию.

В нашем опыте на каждой изучаемой шишке визуально были определены формы щитков. Сначала типы щитка подразделили на плоский и выпуклый (в процентах от общего количества чешуй), затем выпуклый — на выпуклый прямой и выпуклый загнутый (в процентах от выпуклых чешуй). Последний тип подразделили на выпуклый загнутый к основанию чешуйки и выпуклый загнутый к вершине чешуйки (в процентах от выпуклых загнутых чешуй) (табл. 7).

На всех исследуемых шишках имелись как плоские, так и выпуклые щитки. На шишках количество плоских щитков составило в среднем 43 %. Из чешуек с выпуклым щитком преобладали выпуклые прямые щитки — в среднем 41 %. Выпуклые загнутые щитки имеются не на всех шишках. У некоторых деревьев (№ 5 и № 6) их количество минимальное, а у дерева № 11 среднее количество выпуклых загнутых щитков на шишках превышает и количество

Т а б л и ц а 7

Форма апофиза (щитка), %
Aporphysis shape, %

Номер дерева	Плоский		Выпуклый прямой		Выпуклый загнутый к основанию чешуйки		Выпуклый загнутый к вершине чешуйки	
	<i>M</i>	<i>V</i> , %	<i>M</i>	<i>V</i> , %	<i>M</i>	<i>V</i> , %	<i>M</i>	<i>V</i> , %
1	42	26	30	28	11	46	17	42
2	51	20	37	22	10	41	2	130
3	40	19	42	15	15	41	3	150
4	36	20	43	13	16	42	5	84
5	46	27	52	24	1,5	162	0,5	316
6	41	30	58	20	0,3	381	0,7	326
7	52	23	40	24	3	138	5	97
8	48	19	42	25	9	64	1	182
9	46	20	35	26	18	39	1	269
10	46	30	47	36	4	154	3	199
11	30	32	24	36	39	31	7	114
Среднее по деревьям	43	24	41	24	12	104	4	174

Т а б л и ц а 8

Коэффициент корреляции признаков шишек
Correlation coefficient between cone characteristics

Коррелируемые признаки	Среднее значение коэффициента корреляции	Лимиты коэффициента корреляции
Длина шишки — ширина открытой шишки	0,80	0,66...0,95
Длина шишки — ширина закрытой шишки	0,80	0,66...0,89
Ширина открытой шишки — ширина закрытой шишки	0,76	0,53...0,86
Длина шишки — количество чешуй	0,69	0,51...0,89
Длина щитка — ширина щитка	0,44	0,23...0,67
Длина пупка — ширина пупка	0,29	0,12...0,51
Длина чешуи — длина щитка	0,51	0,29...0,70
Длина чешуи — ширина щитка	0,54	0,37...0,82
Длина чешуи — длина шишки	0,67	0,36...0,85
Длина чешуи — ширина открытой шишки	0,81	0,70...0,92
Длина чешуи — ширина закрытой шишки	0,61	0,39...0,78

выпуклых прямых щитков, и количество плоских щитков. Щитки выпуклые и загнутые к основанию в среднем встречались в 3 раза чаще, чем выпуклые и загнутые к вершине.

Уровень эндогенной изменчивости плоских и выпуклых прямых щитков был от среднего до высокого, выпуклых загнутых щитков — очень высокий. Уровень индивидуальной изменчивости этих признаков был от повышенного до очень высокого.

Высокий уровень эндогенной и индивидуальной изменчивости формы щитка (апофиза) показывает, что его нельзя рекомендовать для оценки межгрупповой морфологической изменчивости шишек сосны обыкновенной.

Научный интерес представляет корреляция отдельных параметров шишек и их частей. От степени корреляции во многом зависит изменчивость относительных параметров шишек и их частей.

Как видно из табл. 8, все представленные в ней признаки шишек имели между собой положительную корреляцию, однако ее уровень был разным [39]. Наиболее тесную связь между собой показали общие размерные показатели шишек: длина шишки, ширина открытой и закрытой шишек. В связи с этим показатели формы шишек как в открытом, так и в закрытом состоянии устойчивы, имеют низкую эндогенную изменчивость и являются важными ха-

рактическими при оценке групповой изменчивости. Тесную связь показали также длина чешуи с шириной открытой шишки. Ширина открытой шишки зависит от длины чешуй, однако она будет зависеть и от угла отхождения чешуй. В данных исследованиях в пределах одного дерева угол отклонения чешуй не имел существенных отличий, что и обусловило тесную корреляцию.

Корреляция между длиной и шириной щитка и между длиной и шириной пупка показали слабую связь. Это ставит под сомнение использование признаков формы щитка и формы пупка для характеристики внутривидовой групповой изменчивости. Однако при сравнении шишек различных видов сосен этими признаками не стоит пренебрегать. Остальные представленные в табл. 8 пары признаков имели средний (умеренный) уровень корреляции.

В большинстве случаев (при коэффициенте корреляции 0,34 и выше) корреляция была достоверной — на уровне 95 %. Недостоверной была корреляция у четырех деревьев по признаку длина пупка — ширина пупка и у двух деревьев по признакам длина щитка — ширина щитка и длина чешуи — длина щитка, которые имели самые низкие значения коэффициентов корреляции.

Выводы

Все исследованные количественные показатели шишек (длина шишки, ширина открытой шишки, ширина закрытой шишки, количество чешуй в шишке, длина чешуйки, длина щитка, ширина щитка, длина пупка, ширина пупка), кроме толщины щитка, имели преимущественно низкий уровень как эндогенной, так и индивидуальной внутривидовой изменчивости. Из чего можно сделать вывод о том, что эти признаки можно использовать для фенотипической характеристики групповой изменчивости.

Кроме того, для характеристики групповой изменчивости можно использовать относительные показатели шишек: формы открытой и закрытой шишек, а также коэффициент плотности чешуй и относительные показатели чешуй: форму щитка, форму чешуйки, форму пупка, относительную длину чешуйки, относительную толщину щитка. Эти показатели устойчивы, имеют низкий уровень эндогенной и индивидуальной изменчивости.

Детальное исследование признака «форма щитка (апофиза)» показало, что на каждом дереве имеются разные формы щитков. Показатель эндогенной изменчивости варьирует от

среднего до очень высокого уровня. Варьирование внутривидовой индивидуальной изменчивости — также от повышенного до очень высокого. Это говорит о том, что использование данного признака для изучения групповой изменчивости морфологических и морфометрических признаков шишек сосны обыкновенной нецелесообразно.

Низкий уровень индивидуальной изменчивости большинства линейных и относительных морфометрических признаков в данном опыте был связан не только с индивидуальной стабильностью этих признаков, но и с тем, что для изучения удалось подобрать однородную группу: одна популяция (генетическое единство), сходные условия произрастания, один класс возраста деревьев, отсутствие различий по типу их сексуализации. Низкий уровень эндогенной и индивидуальной изменчивости относительных признаков был связан во многом с тесной положительной корреляцией между соответствующими линейными признаками.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания ГБС РАН № 122042700002-6.

Список литературы

- [1] Christenhusz M., Reveal J., Farjon A., Gardner M., Mill R., Chase M. A new classification and linear sequence of extant gymnosperms // *Phytotaxa*, 2011, v. 19, pp. 55–70. DOI:10.11646/phytotaxa.19.1.3
- [2] Germandt D.S., López G.G., García S.O., Liston A. Phylogeny and classification of *Pinus* // *Taxon*, 2005, v. 54 (1), pp. 29–42. DOI:10.2307/25065300
- [3] Каппер О.Г. Хвойные породы. Лесоводственная характеристика. М.: Гослесбуиздат, 1954. 303 с.
- [4] Правдин Л.Ф. Сосна обыкновенная: изменчивость, внутривидовая систематика и селекция. М.: Наука, 1964. 190 с.
- [5] Тараканов В.В. Демиденко В.П., Ишутин Я.Н., Бушков Н.Т. Селекционное семеноводство сосны обыкновенной в Сибири / под ред. Л.И. Милютина. Новосибирск: Наука, 2001. 229 с.
- [6] Cheddadi R., Vendramin G.G., Litt T., François L., Kageyama M., Lorentz S., Laurent J., Beaulieu J., Sadori L., Jost A., Lunt D. Imprints of glacial refugia in the modern genetic diversity of *Pinus sylvestris* // *Global Ecology and Biogeography*, 2006, v. 15, pp. 271–282. DOI: 10.1111/j.1466-822x.2006.00226.x
- [7] Бессчетнова Н.Н. Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.). Репродуктивный потенциал плюсовых деревьев. Нижний Новгород: Изд-во Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии, 2015. 586 с.
- [8] Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Babich N.A., Bryntsev V.A. Differentiation of Plus Trees of Scots Pine by Xylem Conditions // *Russian Forestry J.* 2023, no. 4 (394), pp. 9–25. DOI: 10.37482/0536-1036-2023-4-9-25

- [9] Eckert A.J., Hall B.D. Phylogeny, historical biogeography, and patterns of diversification for *Pinus* (Pinaceae): Phylogenetic tests of fossil-based hypotheses // *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 2006, v. 40, pp. 166–182. DOI:10.1016/j.ympev.2006.03.009
- [10] Palmé A.E., Pyhäjärvi T., Wachowiak W., Savolainen O. Selection on nuclear genes in a *Pinus* phylogeny // *Molecular Biology and Evolution*, 2009, v. 26, pp. 893–905. DOI: 10.1093/molbev/msp010
- [11] Jina W.-T., Gernandt D.S., Wehenkeld C. Phylogenomic and ecological analyses reveal the spatiotemporal evolution of global pines // *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, 2021, v. 118, no. 20, e2022302118. DOI: 10.1073/pnas.2022302118
- [12] Zeb U., Wang X., AzizUllah A., Fiaz S., Khan H., Ullah S., Ali H., Shahzad K. Comparative genome sequence and phylogenetic analysis of chloroplast for evolutionary relationship among *Pinus* species // *Saudi J. of Biological Sciences*, 2022, v. 29, pp. 1618–1627. DOI:10.1016/j.sjbs.2021.10.070
- [13] Syring J., Farrell K., Businský R., Cronn R., Liston A. Widespread Genealogical Nonmonophyly in Species of *Pinus* Subgenus *Strobos* // *Systematic Biology*, 2007, v. 56(2), pp. 1–19. DOI: 10.1080/10635150701258787
- [14] Szmídt A.E., Wang X.-R. Molecular systematics and genetic differentiation of *Pinus sylvestris* (L.) and *P. densiflora* (Sieb. et Zucc.) // *Theor. Appl. Genet.*, 1993, v. 86, pp. 159–165.
- [15] Szmídt A.E., Wang X.-R., Changtragoon S. Contrasting patterns of genetic diversity in two tropical pines: *Pinus kesiya* (Royle ex Gordon) and *P. merkusii* (Jung et De Vriese) // *Theor. Appl. Genet.*, 1996, v. 92, pp. 436–441.
- [16] Liua Y.-Y., Jina W.-T., Weia X.-X., Wang X.-Q. Cryptic speciation in the Chinese white pine (*Pinus armandii*): Implications for the high species diversity of conifers in the Hengduan Mountains, a global biodiversity hotspot // *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 2019, v. 138, pp. 114–125. DOI:10.1016/j.ympev.2019.05.015
- [17] Vasilyeva G. Crossability of *Pinus sibirica* and *P. pumila* with their hybrids // *Silvae Genetica*, 2013, v. 62 (1–2), pp. 61–68. DOI:10.1515/sg-2013-0008
- [18] Meng J., Mao J., Zhao W., Xing F., Chen X., Liu H., Xing Z., Wang X., Li Y. Adaptive Differentiation in Seedling Traits in a Hybrid Pine Species Complex, *Pinus densata* and Its Parental Species, on the Tibetan Plateau // *PLoS ONE*, 2015, v. 10(3). DOI:10.1371/journal.pone.0118501
- [19] Farjon A. Biodiversity of *Pinus* (Pinaceae) in Mexico: speciation and palaeo-endemism // *Botanical J. of the Linnean Society*, 1996, v. 121, pp. 365–384.
- [20] Marcysiak K., Boratynski A. Contribution to the taxonomy of *Pinus uncinata* (Pinaceae) based on cone characters // *Pl. Syst. Evol.*, 2007, v. 264, pp. 57–73. DOI 10.1007/s00606-006-0501-2
- [21] Tiwari S.P., Kumar P., Yadav D., Chauhan D.K. Comparative morphological, epidermal, and anatomical studies of *Pinus roxburghii* needles at different altitudes in the North-West Indian Himalayas // *Turkish J. of Botany*, 2013, v. 37, pp. 65–73. DOI:10.3906/bot-1110-1
- [22] Klymiuk A.A., Stockey R.A., Rothwell G.W. The First Organismal Concept for an Extinct Species of Pinaceae: *Pinus arnoldii* Miller // *International J. of Plant Sciences*, 2011, v. 172, no. 2, pp. 294–313. DOI:10.1086/657649
- [23] Li X.-C., Hu Y., Zhang X., Xiaoa L., Lianga L., Zhanga R., Qiao L. A novel seed cone of *Pinus* from the Miocene of coastal Southeast China indicates kinship with Southeast Asian pines // *Plant Diversity*, 2023, v. 45, pp. 732–747. DOI:10.1016/j.pld.2022.12.002
- [24] Линней К. *Философия ботаники*. М.: Наука, 1989. 456 с.
- [25] Кузьмина Н.А., Кузьмин С.Р. Особенности генеративных органов сосны обыкновенной // *Хвойные бореальной зоны*, 2007. № 2–3. С. 225–234.
- [26] Memišević Hodžić M., Hajrudinovic-Bogunić A., Bogunić F., Marku V., Ballian D. Geographic variation of *Pinus heldreichii* Christ from the Western Balkans based on cone and seed morphology // *Dendrobiology*, 2020, v. 84, pp. 81–93. DOI:10.12657/denbio.084.007
- [27] Чупров А.В., Наквасина Е.Н., Прожерина Н.А. Изменчивость шишек сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), произрастающей в географических культурах Архангельской области // *Лесной вестник / Forestry Bulletin*, 2021. Т. 25. № 3. С. 24–33. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-3-24-33
- [28] Čelakovský L.J. *Die Gymnospermen. Eine Morphologisch-Phylogenetische studie* // *Královská česká společnost nauk. Třída matematikōpřirodovedecká. Rozpravy. Folge 7. Bd. 4. № 1. Prag: K. Böhm. Gesellschaft der Wissenschaften*, 1890, 148 p.
- [29] Брынцев В.А. Эволюционные и экологические последствия морфологических особенностей шишек рода *Pinus* в семействе *Pinaceae* // Ежегодная национальная (с междунар. участием) науч.-техн. конф. профессорско-преподавательского состава, аспирантов и студентов Мьгищинского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана по итогам науч.-исслед. работ за 2023 г.: Материалы конф. Красноярск: Изд-во Научно-инновационного центра, 2024. С. 10–12.
- [30] Брынцев В.А. Шишка голосеменных растений // *Большая российская энциклопедия*. URL: <https://bigenc.ru/c/shishka-golosemennyykh-rastenii-1ac632> (дата обращения 22.12.2024).
- [31] Наквасина Е.Н., Прожерина Н.А., Чупров А.В. Формирование шишек сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях изменения климата // *Лесной вестник / Forestry Bulletin*, 2023. Т. 27. № 4. С. 36–46. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-36-46
- [32] Чупров А.В., Наквасина Е.Н., Прожерина Н.А. Изменчивость шишек сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), произрастающей в географических культурах Архангельской области // *Лесной вестник / Forestry Bulletin*, 2021. Т. 25. № 3. С. 24–33. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-3-24-33
- [33] Романовский М.Г. *Полиморфизм древесных растений по количественным признакам*. М.: Наука, 1994, 96 с.
- [34] Мамаев С.А. *Формы внутривидовой изменчивости древесных растений (на примере семейства Pinaceae на Урале)*. М.: Наука, 1972. 284 с.
- [35] Иванов В.П., Марченко С.И., Глазун И.Н., Нартов Д.И. Оценка влияния морфометрических параметров шишек на качество семенного материала сосны обыкновенной // *ИзВУЗ Лесной журнал*, 2018. № 4 (364). С. 19–30.
- [36] Кузьмина Н.А. Изменчивость генеративных органов сосны обыкновенной в Приангарье // *Селекция хвойных пород Сибири*. Красноярск: Изд-во ИЛИД, 1978. С. 96–120.

- [37] Брынцев В.А. Филлотаксис. Опыт применения компьютерных моделей для решения вопросов теоретической морфологии растений. М.: УМЦ, 2006. 112 с.
- [38] Daskalou E. N., Thanos C. A. Seed and cone morphometric indicators: A new tool for the discrimination between the common Mediterranean pines *Pinus halepensis* Mill. and *P. brutia* Ten. // Plant Biosystems, 2010, v. 144, no. 4, pp. 819–825. DOI:10.1080/11263504.2010.514127
- [39] Харченко М.А. Корреляционный анализ. Воронеж: Изд-во ВГУ, 2008. 31 с.

Сведения об авторе

Брынцев Владимир Альбертович — д-р с.-х. наук, доцент, гл. науч. сотр. лаборатории дендрологии, ФГБУН «Главный ботанический сад имени Н.В. Цицина Российской академии наук», bryntsev@mail.ru

Поступила в редакцию 02.04.2025.

Одобрено после рецензирования 17.04.2025.

Принята к публикации 21.08.2025.

ENDOGENOUS AND INDIVIDUAL VARIABILITY OF SCOTS PINE (*PINUS SYLVESTRIS* L.) CONES' MORPHOMETRIC PARAMETERS

V.A. Bryntsev

Main Botanical Garden named after N.V. Tsitsin of the Russian Academy of Sciences, 4, Botanicheskaya st., 127276, Moscow, Russia

bryntsev@mail.ru

The article analyzes endogenous and individual variability of Scots pine cones' morphological features. Cone features are widely used in forestry and dendrological literature to characterize populations, ecotypes, climatypes and forms. However, there are very few detailed studies of endogenous variability of Scots pine cones, which determines the possibility of using them to assess group variability, in the literature, which indicates the relevance of the research. The work studied quantitative such linear indicators as cone length, its width in the closed and open state, seed scales length, length, width and thickness of the shield, umbo length and width. Endogenous and individual variability in the shape of the apophysis was also studied. In addition to linear morphometric features, relative quantitative indicators were studied that reflect both the shape of the cone and the shape of its parts (seed scales, apophysis, umbo). The level of endogenous variability depends on the variability level of the linear indices, the ratio of which they are obtained, and on the degree of correlation between these linear indices. The conducted analysis of statistical indices of morphometric features variability showed that all the studied quantitative indices of cones had predominantly low levels of endogenous and individual variability, therefore these features can be used to study group variability. Relative indices of cones had even lower levels of endogenous and individual variability. They have an advantage in studying group variability, since they indirectly characterize the shape of cones and reflect the correlation relationships established in it. The study of the shape of the apophysis showed that its endogenous variability differs from medium to very high, and individual variability differs from increased to very high. Therefore, its use for studying group variability is inappropriate.

Keywords: endogenous variability, individual variability, cone morphology, Scots pine

Suggested citation: Bryntsev V.A. *Endogennaya i individual'naya izmenchivost' morfometricheskikh pokazateley shishek sosny obyknovnoy (Pinus sylvestris L.)* [Endogenous and individual variability of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) cones' morphometric parameters]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2025, vol. 29, no. 5, pp. 62–74. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-5-62-74

References

- [1] Christenhusz M., Reveal J., Farjon A., Gardner M., Mill R., Chase M. A new classification and linear sequence of extant gymnosperms. *Phytotaxa*, 2011 v. 19, pp. 55–70. DOI:10.11646/phytotaxa.19.1.3
- [2] Gernandt D.S., López G.G., García S.O., Liston A. Phylogeny and classification of *Pinus*. *Taxon*, 2005, v. 54 (1), pp. 29–42. DOI:10.2307/25065300

- [3] Kapper O.G. *Khvoynnye porody. Lesovodstvennaya kharakteristika* [Coniferous trees. Forestry characteristics] Moscow: Goslesbumizdat, 1954, 303 p.
- [4] Pravdin L.F. *Sosna obyknovennaya: izmenchivost', vnutrividovaya sistematika i selektsiya* [Scots pine: variability, intraspecific taxonomy and selection]. Moscow: Nauka, 1964, 190 p.
- [5] Tarakanov V.V. Demidenko V.P., Ishutin YA.N., Bushkov N.T. *Selektsionnoye semenovodstvo sosny obyknovennoy v Sibiri* [Selective seed production of Scots pine in Siberia]. Novosibirsk: Nauka, 2001, 229 p.
- [6] Cheddadi R., Vendramin G.G., Litt T., François L., Kageyama M., Lorentz S., Laurent J., Beaulieu J., Sadori L., Jost A., Lunt D. Imprints of glacial refugia in the modern genetic diversity of *Pinus sylvestris*. *Global Ecology and Biogeography*, 2006, v. 15, pp. 271–282. DOI: 10.1111/j.1466-822x.2006.00226.x
- [7] Besschetnova N.N. *Sosna obyknovennaya (Pinus sylvestris L.). Reproductivnyy potentsial plyusovykh derev'yev* [Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). Reproductive potential of plus trees]. Nizhniy Novgorod: Nizhegorodskaya gosudarstvennaya sel'skokhozyaystvennaya akademiya, 2015, 586 p.
- [8] Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Babich N.A., Bryntsev V.A. Differentiation of Plus Trees of Scots Pine by Xylem Conditions. *Russian Forestry J.* 2023, no. 4 (394), pp. 9–25. DOI: 10.37482/0536-1036-2023-4-9-25
- [9] Eckert A.J., Hall B.D. Phylogeny, historical biogeography, and patterns of diversification for *Pinus* (*Pinaceae*): Phylogenetic tests of fossil-based hypotheses. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 2006, v. 40, pp. 166–182. DOI:10.1016/j.ympev.2006.03.009
- [10] Palmé A.E., Pyhäjärvi T., Wachowiak W., Savolainen O. Selection on nuclear genes in a *Pinus* phylogeny. *Molecular Biology and Evolution*, 2009, v. 26, pp. 893–905. DOI: 10.1093/molbev/msp010
- [11] Jina W.-T., Gernandtc D.S., Wehenkeld C. Phylogenomic and ecological analyses reveal the spatiotemporal evolution of global pines. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, 2021, v. 118, no. 20, e2022302118. DOI: 10.1073/pnas.2022302118
- [12] Zeb U., Wangb X., AzizUllah A., Fiaz S., Khan H., Ullah S., Ali H., Shahzad K. Comparative genome sequence and phylogenetic analysis of chloroplast for evolutionary relationship among *Pinus* species. *Saudi J. of Biological Sciences*, 2022, v. 29, pp. 1618–1627. DOI:10.1016/j.sjbs.2021.10.070
- [13] Syring J., Farrell K., Businsk'y R., Cronn R., Liston A. Widespread Genealogical Nonmonophyly in Species of *Pinus* Subgenus *Strobus*. *Systematic Biology*, 2007, v. 56(2), pp. 1–19. DOI: 10.1080/10635150701258787
- [14] Szmidt A.E., Wang X.-R. Molecular systematics and genetic differentiation of *Pinus sylvestris* (L.) and *P. densiflora* (Sieb. et Zucc.). *Theor. Appl. Genet.*, 1993, v. 86, pp. 159–165.
- [15] Szmidt A.E., Wang X.-R., Changtragoon S. Contrasting patterns of genetic diversity in two tropical pines: *Pinus kesiya* (Royle ex Gordon) and *P. merkusii* (Jungb et De Vriese). *Theor. Appl. Genet.*, 1996, v. 92, pp. 436–441.
- [16] Liua Y.-Y., Jina W.-T., Weia X.-X., Wang X.-Q. Cryptic speciation in the Chinese white pine (*Pinus armandii*): Implications for the high species diversity of conifers in the Hengduan Mountains, a global biodiversity hotspot. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 2019, v. 138, pp. 114–125. DOI:10.1016/j.ympev.2019.05.015
- [17] Vasilyeva G. Crossability of *Pinus sibirica* and *P. pumila* with their hybrids. *Silvae Genetica*, 2013, v. 62 (1–2), pp. 61–68. DOI:10.1515/sg-2013-0008
- [18] Meng J., Mao J., Zhao W., Xing F., Chen X., Liu H., Xing Z., Wang X., Li Y. Adaptive Differentiation in Seedling Traits in a Hybrid Pine Species Complex, *Pinus densata* and Its Parental Species, on the Tibetan Plateau. *PLoS ONE*, 2015, v. 10(3). DOI:10.1371/journal.pone.0118501
- [19] Farjon A. Biodiversity of *Pinus* (*Pinaceae*) in Mexico: speciation and palaeo-endemism. *Botanical J. of the Linnean Society*, 1996, v. 121, pp. 365–384.
- [20] Marcysiak K., Boratynski A. Contribution to the taxonomy of *Pinus uncinata* (*Pinaceae*) based on cone characters. *Pl. Syst. Evol.*, 2007, v. 264, pp. 57–73. DOI 10.1007/s00606-006-0501-2
- [21] Tiwari S.P., Kumar P., Yadav D., Chauhan D.K. Comparative morphological, epidermal, and anatomical studies of *Pinus roxburghii* needles at different altitudes in the North-West Indian Himalayas. *Turkish J. of Botany*, 2013, v. 37, pp. 65–73. DOI:10.3906/bot-1110-1
- [22] Klymiuk A.A., Stockey R.A., Rothwell G.W. The First Organismal Concept for an Extinct Species of Pinaceae: *Pinus arnoldii* Miller. *International J. of Plant Sciences*, 2011, v. 172, no. 2, pp. 294–313. DOI:10.1086/657649
- [23] Li X.-C., Hu Y., Zhang X., Xiaoa L., Lianga L., Zhanga R., Qiao L. A novel seed cone of *Pinus* from the Miocene of coastal Southeast China indicates kinship with Southeast Asian pines. *Plant Diversity*, 2023, v. 45, pp. 732–747. DOI:10.1016/j.pld.2022.12.002
- [24] Linney K. *Filosofiya botaniki* [Philosophy of Botany]. Moscow: Nauka, 1989, 456 p.
- [25] Kuz'mina N.A., Kuz'min S.R. *Osobennosti generativnykh organov sosny obyknovennoy* [Features of the generative organs of Scots pine]. *Khvoynnye boreal'noy zony* [Conifers of the boreal zone], 2007, no. 2–3, pp. 225–234.
- [26] Memišević Hodžić M., Hajrudinovic-Bogunić A., Bogunić F., Marku V., Ballian D. Geographic variation of *Pinus heldreichii* Christ from the Western Balkans based on cone and seed morphology. *Dendrobiology*, 2020, v. 84, pp. 81–93. DOI:10.12657/denbio.084.007
- [27] Chuprov A.V., Nakvasina E.N., Prozherina E.A. *Izmenchivost' shishek sosny obyknovennoy (Pinus sylvestris L.), proizrastayushchey v geograficheskikh kul'turakh Arkhangel'skoy oblasti* [Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) cones phenotypic variation growing in provenance trials of Arkhangelsk region]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 3, pp. 24–33. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-3-24-33
- [28] Čelakovský L.J. Die Gymnospermen. Eine Morphologisch-Phylogenetische studie. *Královská česká společnost nauk. Třída matematikōpřirodovedecká. Rozpravy. Folge 7. Bd. 4. № 1.* Prag: K. Böhm. Gesellschaft der Wissenschaften, 1890, 148 p.

- [29] Bryntsev V.A. *Evolyutsionnyye i ekologicheskiye posledstviya morfoloicheskikh osobennostey shishek roda Pinus v semeystve Pinaceae* [Evolutionary and ecological consequences of morphological features of cones of the genus *Pinus* in the family *Pinaceae*]. Yezhegodnaya natsional'naya (s mezhdunarodnym uchastiyem) nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya professorsko-prepodavatel'skogo sostava, aspirantov i studentov Mytishchinskogo filiala MG TU im. N.E. Baumana po itogam nauchno-issledovatel'skikh rabot za 2023 g.: mater. konferentsii [Annual national (with international participation) scientific and technical conference of the faculty, graduate students and students of the Mytishchi branch of Bauman Moscow State Technical University on the results of research work for 2023: conference materials]. Krasnoyarsk: Research and Innovation Center, 2024, pp. 10–12.
- [30] Bryntsev V.A. *Shishka golosemennykh rasteniy* [Cone of gymnosperms]. Bol'shaya rossiyskaya entsiklopediya [The Great Russian Encyclopedia]. Available at: <https://bigenc.ru/c/shishka-golosemennykh-rastenii-lac632> (accessed 22.12.2024).
- [31] Nakvasina E.N., Prozherina N.A., Chuprov A.V. *Formirovanie shishek sosny obyknovnoy (Pinus sylvestris L.) v usloviyakh izmeneniya klimata* [Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) cone formation under changing climate]. Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin, 2023, vol. 27, no. 4, pp. 36–46. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-36-46
- [32] Chuprov A.V., Nakvasina E.N., Prozherina E.A. *Izmenchivost' shishek sosny obyknovnoy (Pinus sylvestris L.), proizrastayushchey v geograficheskikh kul'turakh Arkhangel'skoy oblasti* [Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) cones phenotypic variation growing in provenance trials of Arkhangel'sk region]. Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin, 2021, vol. 25, no. 3, pp. 24–33. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-3-24-33
- [33] Romanovskiy M.G. *Polimorfizm drevesnykh rasteniy po kolichestvennym priznakam* [Polymorphism of woody plants by quantitative traits]. Moscow: Nauka, 1994, 96 p.
- [34] Mamayev S.A. *Formy vnutrividovoy izmenchivosti drevesnykh rasteniy (na primere semeystva Pinaceae na Urale)* [Forms of intraspecific variability of woody plants]. Moscow: Nauka, 1973, 284 p.
- [35] Ivanov V.P., Marchenko S.I., Glazun I.N., Nartov D.I. *Otsenka vliyaniya morfometricheskikh parametrov shishek na kachestvo semennogo materiala sosny obyknovnoy* [Assessment of the influence of morphometric parameters of cones on the quality of Scots pine seed material]. Russian Forestry J., 2018, no. 4 (364), pp. 19–30.
- [36] Kuz'mina N.A. *Izmenchivost' generativnykh organov sosny obyknovnoy v Priangar'ye* [Variability of generative organs of Scots pine in the Angara region]. Seleksiya khvoynykh porod Sibiri [Selection of Siberian coniferous species]. Krasnoyarsk, 1978, pp. 96–120.
- [37] Bryntsev V.A. *Fillotaksis. Opyt primeneniya komp'yuternykh modeley dlya resheniya voprosov teoreticheskoy morfologii rasteniy* [Phyllotaxis. Experience of application of computer models for solution of questions of theoretical morphology of plants]. Moscow: UMC, 2006, 112 p.
- [38] Daskalaku E.N., Thanos C.A. Seed and cone morphometric indicators: A new tool for the discrimination between the common Mediterranean pines *Pinus halepensis* Mill. and *P. brutia* Ten. Plant Biosystems, 2010, v. 144, no. 4, pp. 819–825. DOI:10.1080/11263504.2010.514127
- [39] Harchenko M.A. *Korrelyatsionnyy analiz* [Correlation analysis]. Voronezh: VGU, 2008, 31 p.

The research carried out within the framework of the state assignment of Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences on topic № 22042700002-6.

Author's information

Bryntsev Vladimir Al'bertovich — Dr. Sci. (Agriculture), Associate Professor, Chief Research Scientist of the Main Botanical Garden named after N.V. Tsitsin of the Russian Academy of Sciences, bryntsev@mail.ru

Received 02.04.2025.

Approved after review 17.04.2025.

Accepted for publication 21.08.2025.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ИНТРОДУЦЕНТЫ ДЛЯ РАСШИРЕНИЯ ВИДОВОГО РАЗНООБРАЗИЯ БЕРЕЗНЯКОВ В СЕВЕРНОМ КАЗАХСТАНЕ

Я.А. Крекова¹, С.В. Залесов²✉

¹ТОО «Казахский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации имени А.Н. Букейхана», Республика Казахстан, 021704, Акмолинская обл., Бурабайский р-н, г. Щучинск, ул. Кирова, д. 58

²ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», Россия, 620100, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, д. 37

zalesovsv@m.usfeu.ru

Приведены данные о распространении березовых насаждений по территории областей Республики Казахстан, а также представленность их в лесных фондах Республики Беларусь и Российской Федерации. Определено, что из выделенных в настоящее время 83 видов берез в Республике Казахстан естественно произрастают и формируют насаждения два вида: береза повислая (*Betula pendula* Roth) и береза пушистая (*B. Pubescens* Ehrh.). Данные виды не только формируют естественные насаждения, но и активно используются при озеленении, агролесомелиорации, лесовосстановлении и лесоразведении. Изучены перспективность и таксационные показатели 11 таксонов рода Береза (*Betula* L.), произрастающих в арборетуме Казахского научно-исследовательского института лесного хозяйства и агролесомелиорации им. А.Н. Букейхана (КазНИИЛХА). Установлено, что наиболее перспективными для интродукции на территории Северного Казахстана являются береза карельская (*B. Pendula* Roth var. *carelica* (Mercklin) Hämet Ahti) и береза плосколистная (*B. platyphylla* Sukaczev.), которые превосходят по высоте и диаметру другие таксоны, в том числе местные. Изложено мнение о перспективности для искусственного лесоразведения и лесовосстановления березы повислой (форма чернокоряя (*B. Pendula* Roth) и березы маньчжурской (*B. mandshurica* (Regel.) Nakai), несмотря на некоторые отставание по высоте. Рекомендуются для озеленения береза Келлера (*B. Kelleriana* Sukacz.), береза даурская (*B. dahurica* Pall.) и береза Эрмана (*B. ermanii* Cham.).

Ключевые слова: береза, *Betula* L., площадь, запас, насаждения, Казахский мелкосопочник, интродукция

Ссылка для цитирования: Крекова Я.А., Залесов С.В. Перспективные интродуценты для расширения видового разнообразия березняков в Северном Казахстане // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2025. Т. 29. № 5. С. 75–85. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-5-75-85

Среди древесных видов лесообразователей, активно заселяющих не покрытые лесной растительностью земли, можно выделить представителей рода Береза (*Betula* L.). Виды данного рода характеризуются высокой морозостойкостью, широкой амплитудой плодородия и влажности почв, что позволяет им формировать экосистемы в различных лесорастительных условиях. Береза широко используется при полезащитном лесоразведении, создании придорожных полос на территории Российской Федерации и Республики Казахстан.

В благоприятных лесорастительных условиях береза формирует чистые и смешанные насаждения как с хвойными, так и с лиственными видами. При этом общеизвестно положительное влияние опада березы на плодородие

почв. В частности, в результате смены хвойных насаждений на березняки замедляется подзолистый и развивается дерновый процесс почвообразования, что способствует повышению продуктивности будущих насаждений.

Древесина березы пользуется спросом и служит основным источником сырья для фанерного производства. В настоящее время прослеживается активная тенденция перехода целлюлозно-бумажных комбинатов с хвойных балансов на лиственные, прежде всего березовые, что с учетом скорости роста большинства видов берез создает основу для посадки специализированных лесных плантаций по выращиванию березовых балансов с коротким оборотом рубки.

Большой интерес вызывает заготовка бересты для изготовления различного рода сувенирной продукции. Издревле славятся березовый деготь и уголь, в частности, обладающий высокой

теплотворной способностью и являющийся сырьем, используемым при выплавке металлов.

Березняки богаты недревесной продукцией леса. В них много грибов и ягод, а также лекарственного сырья. Широко известны лечебные свойства березовых почек и чаги.

В березняках находят корм многие птицы и животные. Так, в зимний период в тундре и лесотундре основным кормом белых куропаток служат почки березы карликовой.

Устойчивость берез к воздействию промышленных поллютантов обуславливает широкое их применение при озеленении городов и других населенных пунктов.

Род Береза (*Betula* L.) принадлежит семейству *Betulaceae*. Согласно данным современных исследований, установлено около 83 видов берез. Представители данного рода являются важным экологическим компонентом северных умеренных и бореальных лесов во многих частях мира. Березы широко распространены в северных умеренных и арктических регионах, в том числе в высокогорных районах Гималаев, в северо-восточной части Индии, в Непале, России, Китае, Монголии, Казахстане, Кыргызстане, Афганистане, Корее, Японии, на юге Европе, их ареал простирается до Северной и Южной Америки [1].

В Республике Казахстан береза представляет собой одну из главных лесообразующих пород. Березняки на территории республики распределены неравномерно, кроме того, некоторые популяции произрастают изолированно друг от друга. В северной части Казахстана произрастают береза повислая (*B. Pendula* Roth) и береза пушистая (*B. Pubescens* Ehrh.), которые образуют лесные насаждения [2, 3].

2000–2020-е годы ознаменовались проведением интенсивных работ в области создания искусственных березовых насаждений в санитарно-защитной зоне г. Астаны [4–7]. При этом, на первом этапе создания лесных культур прежде всего используется береза, которая впоследствии обеспечивает формирование насаждений других видов, высаживаемых на втором этапе, за счет улучшения лесорастительных условий. В то же время известны случаи поражения березы бактериальной водяной [8], что нельзя не учитывать при планировании лесовосстановления и лесоразведения в Казахстане.

В целях увеличения биоразнообразия хозяйственно-ценных для лесного хозяйства видов в Северном Казахстане была проведена работа по интродукции лесообразующих видов, в число которых входила береза. В виду суровых условий роста (резко континентального климата, ограниченного количества доступной влаги и др.)

результаты по интродукции березы представляют большой научный и практический интерес.

Известно, что интродуцированные в ботанические учреждения березы являются ценными объектами для исследований адаптационных возможностей, устойчивости, содержания биологически активных веществ и итоговой оценки перспективности их применения в лесной интродукции и озеленении [9–12].

Представляется актуальной интродукция берез для озеленения в северные регионы с неблагоприятными климатическими условиями, где ресурсы местной древесной флоры ограничены. В настоящее время прорабатываются направления по мобилизации и испытанию декоративных форм и сортов березы [13, 14], а также получены определенные результаты и рекомендации по использованию в озеленении устойчивых к вредителям и болезням видов берез [15–17]. Проведены исследования по определению степени декоративности растений семейства березовые с учетом цветения и плодоношения и выявлены виды с высокими показателями [18].

Таким образом, в настоящее время имеются положительные результаты в области интродукции берез для лесоразведения и озеленения. Опыт интродукции берез в степную зону Казахстана представляет особый интерес, поскольку создание культур из устойчивых и продуктивных видов будет способствовать увеличению биоразнообразия и повышению лесистости региона.

Цель работы

Цель работы — определение регионов произрастания березовых насаждений и составление таксационной характеристики видов берез, интродуцированных в северную часть Казахского мелкосопочника (Северный Казахстан).

Объекты и методы исследования

Объектами исследований служили 11 таксонов рода Береза (*Betula* L.), представленных восьмью видами и разновидностями: береза повислая (*Betula pendula* Roth), береза повислая (чернокорая) (*Betula pendula* Roth), два таксона березы карельской (*Betula pendula* Roth var. *carelica* (Mercklin) Hämet-Ahti), два таксона березы маньчжурской (*Betula mandshurica* (Regel) Nakai), береза даурская (*Betula dahurica* Pall.), береза плосколистная (*Betula platyphylla* Sukaczew), береза бумажная (*Betula papyrifera* Marshall), береза Келлера (*Betula kelleriana* Sukacz.), береза Эрмана (*Betula ermanii* Cham.).

Исследуемые таксоны берез были получены двухлетними саженцами или выращены из семян, а затем саженцы высажены на постоянное место произрастания группами (на делянках с посадочными местами размером 3×3 м) в березовом квартале на территории арборетума КазНИИЛХА (52°57'11.3"N 70°15'58.6"E) в г. Щучинск в северной части Казахского мелкосопочника (Северный Казахстан).

Измерения необходимых показателей выполнены с помощью приборов и инструментов для лесной таксации [19, 20]. Измерения высоты растений проведены с помощью электронного высотомера-угломера «Haglof», диаметр ствола на высоте 1,3 м от поверхности земли — мерной вилкой «Haglof», проекция кроны каждого дерева в двух направлениях — мерной лентой.

Камеральная обработка полученных данных, расчет показателей и их статистическая обработка проведены на основании традиционных методов с помощью пакета программы MS Excel 2021 [21–23].

Анализ распределения березы на территории Казахстана проведен согласно материалам государственного лесного кадастра [24].

Результаты и обсуждение

При низкой лесистости территории Казахстана (5 %), береза представляет собой ценную лесообразующую породу. Особый интерес вызывает текущее распределение площадей березовых насаждений. Выполненный анализ показал, что березовые насаждения отсутствуют только в пределах трех областей Казахстана из семнадцати, а именно — в Атырауской, Мангистауской и Кызылординской областях. Распределение березовых насаждений по площади и запасу на остальной территории областей приведено в табл. 1.

Данные, изложенные табл. 1, свидетельствуют о существенной неоднородности распределения березовых насаждений в разрезе областей как по площади, так и по запасу древесины. Так, если в Жамбылской области площадь березняков не превышает 112 га при запасе древесины 4,2 тыс. м³, то в Северо-Казахстанской области площадь березняков составляет 417 951 га с запасом древесины 37 529,7 тыс. м³.

Получены данные о среднем запасе древесины березовых древостоев в пересчете на 1 га. Так, в Павлодарской области указанный показатель составляет 101,9 м³/га, в Северо-Казахстанской области — 89,8 м³/га, в Восточно-Казахстанской области — 89,2 м³/га. Другими словами, березовые насаждения в областях наибольшей представленности харак-

Т а б л и ц а 1

Распределение площадей и запасов березовых насаждений Республики Казахстан по состоянию на 01.01.2023 г. Distribution of areas and stock of birch plantations in the Republic of Kazakhstan as of 01.01.2023

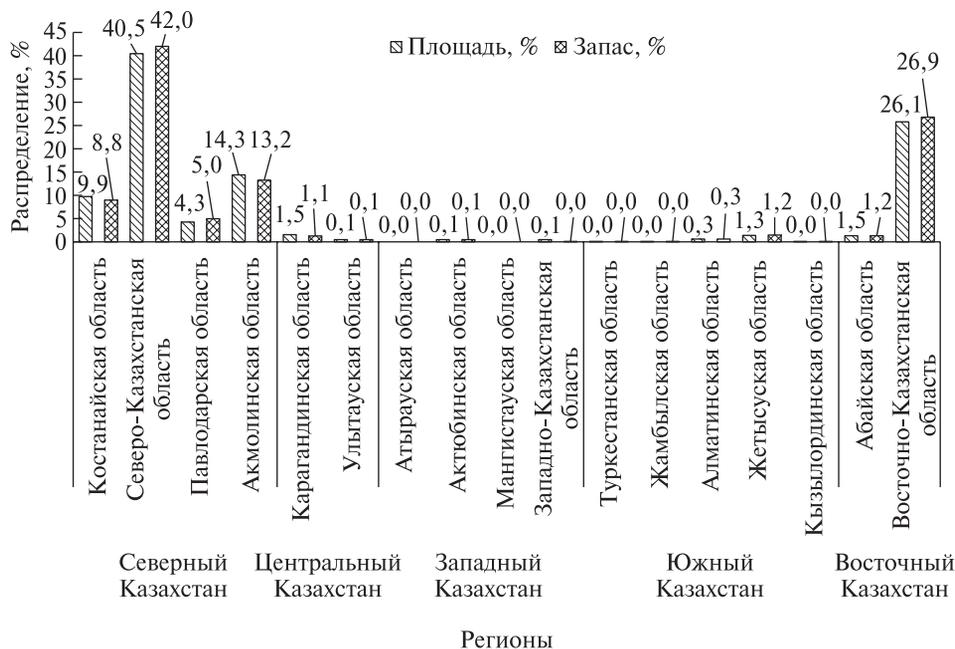
Область	Площадь, га	Запас древесины, тыс. м ³
Абайская	15 000	1077,5
Акмолинская	147 410	11 752,20
Актюбинская	1277	92,2
Алматинская	2956	244,4
Восточно-Казахстанская	269 237	24 025,90
Жамбылская	112	4,2
Жетысуская	13 780	1092,8
Западно-Казахстанская	690	24,1
Карагандинская	15 127	995
Костанайская	101 907	7889,3
Павлодарская	43 900	4474,4
Северо-Казахстанская	417 951	37 529,70
Туркестанская	306	13,3
Улытауская	1231	84,8
Всего в лесном фонде:	1 030 884	89 299,8

теризуются относительно высокой производительностью. Следует отметить, что береза хорошо возобновляется вегетативным путем, что позволяет обеспечивать ее восстановление после рубки спелых и перестойных насаждений с минимальными затратами, даже не прибегая к искусственному лесовосстановлению. Это, относится также и к омоложению полейзащитных и придорожных полос при достижении ими значительного возраста.

Кроме того, данные, представленные в табл. 1, наглядно свидетельствуют о перспективности увеличения площади березняков в Казахстане. Березовые насаждения республики, на долю которых приходится 7,5 % площади (1 млн 30,9 тыс. га), вносят наибольший вклад в ее лесной фонд из всех произрастающих здесь лесообразующих видов, уступая только саксауловым насаждениям — 51,8 % [24].

В странах СНГ березовые насаждения являются экономически значимыми породами. Республика Беларусь занимает второе место по лесистости (40,1 %) среди стран СНГ, в которой на березовые насаждения приходится 18,8 % покрытой лесом площади [25]. В Российской Федерации доля березовых насаждений составляет 13 % площади всего лесного фонда (при лесистости — 46,4 %).

Благодаря высокой пластичности к изменяющимся условиям произрастания береза активно



Распределение площадей и запасов березовых насаждений (*Betula L.*) по регионам Казахстана
 Distribution of areas and stock of birch trees (*Betula L.*) by regions of Kazakhstan

поселяется на нарушенных землях [26], гарях и вырубках [27], формируя производные насаждения на месте коренных хвойных пород, что вызывает необходимость разработки специальных лесоводственных мероприятий по ограничению ее распространения в таежной зоне [28, 29]. При этом обладая способностью быстро расти, береза формирует высокопроизводительные насаждения и по объему выращиваемой древесины на единице площади за аналогичное время значительно превосходит хвойные насаждения. С учетом имеющихся площадей и запасов древесины в березниках данная порода используется как источник ценного сырья в лесной промышленности России [30].

В ходе анализа распределения площадей и запасов березовых насаждений по регионам Казахстана было установлено, что наибольшая их доля находится в северном регионе страны (рисунок).

Согласно выполненным расчетам площади березовых насаждений по регионам республики распределились следующим образом: Северный Казахстан — 711 168 га (69,0 %), Восточный Казахстан — 284 237 га (27,6 %), Южный Казахстан — 17 154 га (1,7 %), Центральный Казахстан — 16 358 га (1,6 %), Западный Казахстан — 1967 га (0,2 %).

Таким образом, Северный Казахстан является одним из наиболее перспективных регионов для интродукции берез и лесоразведения путем выращивания перспективных видов. Предпо-

жительно, регионы с естественным произрастанием видов берез наиболее подходят для интродукции некоторых видов рода, поскольку они могут иметь схожие экологические требования к условиям роста, в зависимости от генотипа. К тому же результаты новых исследований показали, что к одному из факторов адаптации к изменяющимся условиям окружающей среды относится генетическая изменчивость видов берез. Так, фенотипическая пластичность березы повислой способствует ее акклиматизации и расширению имеющегося ареала на север в Северной Европе [31]. Полагаем, что данная закономерность, установленная для березняков Финляндии, проявится и при выращивании березовых насаждений в Казахстане, что обеспечит интродукцию отдельных видов, форм и сортов березы на юг ранее там не произраставших. Это чрезвычайно важно не только для лесоразведения, но и для озеленения и создания полезащитных, придорожных и других видов лесополос.

Расширение площади березовых насаждений помимо перечисленных положительных воздействий на окружающую природную среду будет иметь и климаторегулирующее значение. Интегральным показателем экологии лесных насаждений служит прирост древесины. Именно прирост древесины определяет объем депонируемого в процессе фотосинтеза углерода из атмосферного воздуха, а также выделяемого растениями кислорода. Увеличение площади

Т а б л и ц а 2

Сохранность и таксационная характеристика берез (*Betula L.*)Preservation and taxation characteristics of birch (*Betula L.*)

Таксоны берез	Год посадки	Сохранность, %	Средние значения		Высота ствола до начала кроны, м	Диаметр кроны, м
			высоты, м	диаметра ствола, см		
Бумажная*	1974	60,0	19,1	24	4,4	5,6
Даурская	1971	27,3	11,7 ± 0,3	15,8 ± 0,8	3,4 ± 0,1	4,9 ± 0,4
Карельская	1971	90,9	16,2 ± 0,5	22,2 ± 1,1	4,4 ± 0,1	3,0 ± 0,3
Карельская	1976	75,7	16,8 ± 0,3	24,5 ± 1,3	5,1 ± 0,1	5,0 ± 0,4
Келлера*	1967	42,9	7,2	15,8	1,2	6,8
Маньчжурская	1969	25,0	14,5 ± 0,6	21,9 ± 1,4	4,8 ± 0,1	5,5 ± 0,3
Маньчжурская*	1974	80,0	13,9	27,5	5,0	4,8
Плосколистная	1969	32,5	16,1 ± 0,4	22,2 ± 1,2	5,9 ± 0,1	4,9 ± 0,4
Повислая	1968	52,6	16,6 ± 0,3	25,4 ± 1,1	5,1 ± 0,1	5,6 ± 0,3
Повислая (чернокорая)	1975	62,5	14,0 ± 0,2	29,2 ± 1,3	4,2 ± 0,2	5,9 ± 0,2
Эрмана*	1994	50,0	10,5	19,9	4,2	6,0

Примечание. Звездочкой обозначены таксоны с количеством менее 6 экз., по которым приведены среднеарифметические значения.

березняков за счет не покрытых лесом площадей при лесоразведении в степной зоне будет существенным вкладом в сокращение объема парниковых газов в атмосферном воздухе, а следовательно, в проблему стабилизации изменений климата.

На момент обследования коллекционных насаждений арборетума возраст исследуемых таксонов берез составлял от 51 до 59 лет, за исключением березы Эрмана, возраст которой 32 года. В условиях интродукции также были выращены два таксона березы повислой как представителя местной флоры. Особый научный интерес представляют экземпляры деревьев березы повислой 1975 г. посадки, полученные от чернокорой особи и предоставленные для изучения А.М. Данченко, проводившим в тот период углубленное изучение популяционной изменчивости берез на территории Казахстана [32]. В результате исследования коллекционных берез, были получены данные об их сохранности и текущих показателях роста (табл. 2).

Сохранность растений в условиях интродукции — это один из показателей приспособленности вида к новым условиям роста. Так, в результате достаточно продолжительного периода интродукционного испытания средняя сохранность по всем таксонам составляла 54,5 %. Наивысшая сохранность (более 70 %) установлена для двух таксонов берез карельской и маньчжурской. При этом у березы маньчжурской из двух вариантов высокая сохранность (80,0 %) была у таксона более позднего года

посадки и с небольшим количеством высаженных и сохранившихся экземпляров (4 шт.). Промежуточные результаты по сохранности (от 50 до 62,5 %) были у видов местной флоры (береза повислая и ее чернокорая разновидность) и малочисленных экземпляров березы Эрмана и березы бумажной (2 и 3 шт. соответственно). Сохранность остальных видов была в пределах от 25,0 до 42,9 %.

Сравнительный анализ высоты деревьев и диаметра стволов был проведен между аборигенной березой повислой и остальными таксонами, произраставшими в одинаковых условиях. Так, в результате ранжирования высот было установлено, что у березы повислой данный показатель был одним из самых больших (16,6 ± 0,3 м) наряду с березой карельской (два таксона) и березой плосколистной, разница по высоте у которых составляла не более 0,5 м. Различия по высоте березы повислой и ее чернокорой разновидностью показали отставание в росте второго таксона в среднем на 2,6 м. При этом следует учесть разницу в возрасте между таксонами, так как береза повислая (чернокорая) младше на 7 лет.

Наибольшая высота зафиксирована у березы бумажной, которая была выше березы повислой на 2,5 м. Наименьшей высотой (менее 11 м) отличались береза Эрмана (ввиду возраста) и береза Келлера, отличающаяся наклоном стволов до 30°. Остальные таксоны были ниже березы повислой в среднем на 3 м при высоте в пределах от 11,7 ± 0,3 м (береза даурская) до 14,5 ± 0,6 м (береза маньчжурская).

В результате анализа диаметра стволов изучаемых таксонов было установлено, что его значение для всех таксонов составляло в среднем 22,9 см. Примечательно, что диаметр ствола березы повислой был меньше на 3,8 см, чем у чернокорого таксона. Кроме того, у березы повислой (чернокорой) был наибольший диаметр ствола из всех изучаемых таксонов — $29,2 \pm 1,3$ см. Среди лидеров по диаметру ствола также можно отметить таксон березы маньчжурской более позднего года посадки. У остальных таксонов берез диаметр стволов были меньше на 3,5...37,8 %. У березы карельской отмечено уменьшение диаметра ствола на 0,9 и 3,2 см по сравнению с березой повислой. При этом минимальные диаметры были у таких видов, как береза даурская ($15,8 \pm 0,8$ см) и береза Келлера (15,8 см). Отметим, что более половины деревьев березы Келлера многоствольны (от двух до пяти стволов).

Для характеристики насаждений большое значение также отведено бессучковой зоне ствола или высоте ствола до начала кроны. Во многом для лесной промышленности этот показатель отражает долю древесины более высокого качества, а для озеленения — общую декоративность насаждений за счет открытости или сомкнутости пространства. Нижняя бессучковая зона ствола является основным наиболее ценным материалом для заготовки деловых сортиментов [33].

У исследуемых таксонов берез высота ствола до начала кроны была в пределах 6 м, при минимальном значении 1,2 м у березы Келлера. Условно таксоны были подразделены на три группы:

1) от 5 м и выше — 36,4 % (береза плосколистная, береза повислая, береза карельская (1976 г.), береза маньчжурская (1974 г.);

2) от 4 до 4,9 м — 45,5 % (береза маньчжурская (1969 г.), береза бумажная, береза карельская (1971 г.), береза повислая (чернокорая), береза Эрмана);

3) менее 4 м — 18,1 % (береза даурская, береза Келлера).

Размер, диаметр и форма кроны обусловлены как биологическими особенностями вида, так и внешними факторами (плотностью насаждений, конкуренцией и т. д.). Помимо эстетической ценности крона дерева выполняет экологические функции: регулирует микроклимат и состав атмосферного воздуха, снижает уровень пыли и отравляющих веществ, уровня шума и т. д. [34–39].

Средний диаметр кроны изучаемых таксонов варьировал от 3 до 6,8 м. Наиболее широкая крона была сформирована у березы Келлера и березы Эрмана. Несколько меньшие значения диаметра кроны (5,5...5,9 м) были получены

для березы повислой, березы повислой (чернокорой), березы маньчжурской (1969 г.) и березы бумажной. У менее половины таксонов (36,4 %) размер диаметра кроны был приближен к среднему значению и составлял от 4,8 до 5 м. Самая узкая крона была сформирована у березы карельской (1971 г.) — $3,0 \pm 0,3$ м.

Проведенные исследования подтверждают возможность успешной интродукции и выращивания представителей рода Береза в условиях резко континентального климата в северной части Казахского мелкосопочника. В настоящее время в научной литературе изложены положительные результаты интродукции берез в другие регионы Евразии. В качестве примера успешной интродукции можно привести выращивание березы карельской на территории Евразии, представляющей особую ценность вследствие узорчатой древесины.

Так, анализ интродукционного испытания березы карельской в разнообразных регионах Европы и России (от северной тайги до лесостепи) на протяжении нескольких десятков лет при воздействии разнообразных природно-климатических условий показал перспективность данного направления в виду сохранения и проявления у вида таких ценных признаков, как узорчатость древесины и габитус [40–42]. Обследования лесных культур березы карельской в Нижегородской области выявили высокую продуктивность новосозданных насаждений [43]. Научные исследования по интродукции и культивированию данного вида были расширены посредством изучения генетической основы и поиска маркеров, позволяющих выявлять узорчатость древесины в раннем возрасте [44].

Опыт лесоразведения березы карельской в Нижегородской области и других районах Российской Федерации, а также данные о перспективности этого таксона в Северном Казахстане позволяют рекомендовать его широкое распространение при лесовосстановлении, озеленении и лесоразведении. Особенно перспективна интродукция березы карельской в северных областях с наиболее благоприятными для ее произрастания условиями, а также в Восточно-Казахстанской области, где естественные насаждения березы повислой и березы пушистой характеризуются высокой производительностью.

Основным сдерживающим фактором широкого распространения таксонов берез по территории Казахстана признается недостаток посадочного материала, что можно успешно решить микроклональным размножением. В настоящее время для этого имеются все необходимые условия. Созданы лаборатория по микроклональному размножению и теплица с регулируемым

микроклиматом, предназначенная для выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой. Работники КазНИИЛХА имеют опыт микроклонального размножения различных видов берез и других лесообразующих видов. К главным достоинствам такого размножения относится возможность выращивания большого количества посадочного материала при наличии небольшого числа маточных деревьев. Кроме того, микроклональное размножение обеспечивает стерильность выращиваемого посадочного материала и относительно короткие сроки его выращивания. В частности, в лаборатории микроклонального размножения Филиала «Северный регион» Республиканского государственного казенного предприятия «Республиканский лесной селекционно-семеноводческий центр» (ФСР РГКП «РЛССЦ») г. Щучинск (Северный Казахстан) накоплен опыт выращивания в промышленных масштабах посадочного материала березы повислой и ее чернокорой формы и создания лесных культур.

Выводы

Наибольшую ценность в лесоводственном отношении представляют такие интродуцированные таксоны, как береза карельская (1971 и 1976 гг.) и береза плосколистная. В условиях интродукции в северной части Казахского мелкосопочника (Северный Казахстан) эти виды отличились наилучшими показателями роста в высоту и по диаметру ствола среди исследуемых таксонов, а также по сравнению с аборигенной березой повислой.

Перспективны для выращивания в лесных культурах береза повислая (чернокорая) и береза маньчжурская, у которых отмечено некоторое отставание по росту в высоту и равнозначные или превышающие размеры диаметра ствола на высоте 1,3 м от поверхности земли по сравнению с березой повислой.

Ввиду отсутствия значимых таксационных показателей ствола, не превосходящих таковые у березы повислой, хорошо сформированной и развитой по диаметру и протяженности кроной береза Келлера, береза даурская и береза Эрмана рекомендуются для внедрения в озеленительные насаждения. Текстура и окраска коры ствола данных видов является дополнительным декоративным признаком.

Список литературы

- [1] Wani S., Tantray Y., Gupta R.C., Jan I., Zargar S.A. *Betula L.: Distribution, Ecology and Phytochemicals // Betula: Ecology and Uses*. Editor: Carl T. Bertelsen. New York: Nova Science Publishers, 2000, 182 p.
- [2] Флора Казахстана. Род *Betula L.* / под ред. Н.В. Павлова. Алма-Ата: Изд-во Академии наук Казахской ССР, 1960. Т. 3. С. 55–65.
- [3] Данченко А.М. Популяционная изменчивость березы. Новосибирск: Наука, 1990. 205 с.
- [4] Кабанова С.А., Кабанов А.Н., Данченко М.А., Шахматов П.Ф., Скотт С.А. Изучение морфологических признаков и флуктуирующей способности листового аппарата березы повислой // *Природообустройство*, 2021. № 4. С. 116–122.
- [5] Залесов С.В., Белов Л.А., Залесова Е.С., Оплетев А.С., Суяндиков Ж.О. Надземная фитомасса искусственных березовых насаждений в санитарно-защитной зоне г. Астаны // *Аграрный вестник Урала*, 2014. № 9 (127). С. 68–71.
- [6] Залесов С.В., Белов Л.А., Данчева А.В., Муканов Б.М., Оплетев А.С., Суяндиков Ж.О. Производительность искусственных березовых насаждений в зеленой зоне города Астаны // *Вестник сельскохозяйственных наук Казахстана*, 2014. № 9. С. 53–60.
- [7] Залесов С.В., Белов Л.А., Данчева А.В., Залесова Е.С., Оплетев А.С., Суяндиков Ж.О. Надземная фитомасса и площадь поверхности ассимиляционного аппарата искусственных березовых древостоев в зеленой зоне г. Астаны // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*, 2015. № 3 (125). С. 55–62.
- [8] Захаров А.Б., Бессчетнов В.П. Аномалии ветвления березы (*Betula*) в защитных лесных полосах автомагистралей // *ИзВУЗ Лесной журнал*, 2019. № 5 (371). С. 95–104.
- [9] Козловский Б.Л., Огородникова Т.К., Федоринова О.Н., Куропятников М.В. Оценка устойчивости видов семейства *Betulaceae* S.F. Gray к болезням при интродукции в Ростовской области // *Экологический Вестник Северного Кавказа*, 2012. Т. 8. № 4. С. 51–53.
- [10] Емельянова О.Ю., Маркова М.А., Фирсов А.Н. Перспективы интродукции растений рода *Betula L.* в Орловской области // *Современное садоводство*, 2018. № 4(28). С. 61–69. <https://doi.org/10.24411/2312-6701-2018-10409>
- [11] Бабаев Р.Н., Бесчетнова Н.Н., Бесчетнов В.П. Содержание и баланс запасных веществ в побегах аборигенной и интродуцированных в Нижегородскую область видов и форм березы // *Труды Санкт-Петербургского науч.-исслед. института лесного хозяйства*, 2022. № 1. С. 59–71. <https://doi.org/10.21178/2079-6080.2022.1.59>
- [12] Мартюшов П.А., Коростелева М.В., Марковская А.Н., Котова В.С., Залесов С.В. Роль ботанических садов в определении перспективности древесных интродуцентов // *Международный научно-исследовательский журнал*, 2022. № 12 (129). С. 1–9. DOI: <https://doi.org/10.23670.IRJ.2022.126.20>
- [13] Востовская Т.Н. Декоративные формы березы (*Betula*), рекомендуемые для первичного испытания в культуре в Сибири // *Растительный мир Азиатской России: Вестник Центрального сибирского ботанического сада СО РАН*, 2012. № 1(9). С. 119–126.
- [14] Крайнова А.А. Перспективы интродукции далекарлийской березы для озеленения северных городов // *Актуальные проблемы развития лесного комплекса: Материалы XXI Междунар. науч.-техн. конф., Вологда, 05 декабря 2023 года*. Вологда: Изд-во ВоГУ, 2023. С. 68–70.

- [15] Дубовицкая О.Ю., Масалова Л.И. Перспективы расширения устойчивого ассортимента древесных растений для ландшафтного строительства с использованием североамериканских интродуцентов // Современное садоводство, 2013. № 4(8). С. 80–91.
- [16] Емельянова О.Ю., Цой М.Ф. Оценка состояния и сохранение генофонда растений семейства березовые (Betulaceae С.А. Agardh) дендрария ВНИИСПК // Современное садоводство, 2015. № 4(16). С. 86–96.
- [17] Соловьева М.В., Залесов С.В., Залесова Е.С., Бунькова Н.П., Крекова Я.А. Перспективные хвойные интродуценты для озеленения и расширения биологического разнообразия на Среднем Урале // Актуальные проблемы лесного комплекса, 2019. № 54. С. 157–159.
- [18] Масалова Л.И., Фирсов А.Н., Емельянова О.Ю., Цой М.Ф. Оценка степени и декоративности цветения и плодоношения растений семейства березовые (Betulaceae С.А. Agardh) // Селекция и сорторазведение садовых культур, 2017. Т. 4. № 1–2. С. 87–89.
- [19] Нагимов З.Я., Шевелина И.В., Коростелев И.Ф. Приборы, инструменты и устройства для таксации леса. Екатеринбург: Изд-во УГЛТУ, 2019. 214 с.
- [20] Нагимов З.Я., Шевелина И.В., Нагимов В.З., Артемьева И.Н. Лесотаксационные измерения. Екатеринбург: Изд-во УГЛТУ, 2021. 95 с.
- [21] Багинский В.Ф., Лапицкая О.В. Биометрия в лесном хозяйстве. Гомель: Изд-во ГГУ им. Ф. Скорины, 2017. 276 с.
- [22] Дружинин Ф.Н., Пилипко Е.Н. Методология исследований лесных экосистем. Вологда; Молочное: Изд-во Вологодской ГМХА, 2018. 132 с.
- [23] Шевелина И.В., Нуриев Д.Н., Нагимов З.Я. Стреление, рост и состояние городских озеленительных посадок березы повислой. Екатеринбург: Изд-во УГЛТУ, 2020. 146 с.
- [24] Пояснительная записка к материалам государственного лесного кадастра и кадастра особо охраняемых лесных территорий лесного фонда Республики Казахстан по состоянию на 1 января 2023 года. Алматы, 2023. 132 с.
- [25] Бухтик М.И., Трухнова Д.С. Лесное хозяйство Беларуси: эффективное использование // Устойчивое развитие экономики: состояние, проблемы, перспективы: Сб. трудов XVI Междунар. науч.-практ. конф. В 2 ч., Пинск, 29 апреля 2022 года. Часть I. Пинск: Изд-во Полесского государственного университета, 2022. С. 21–25.
- [26] Горбунова В.Д., Менщиков С.Л. Связь содержания поллютантов в листьях березы повислой с жизненным состоянием древостоя на примере АО «Карабашмедь» // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2024. Т. 28. № 5. С. 129–137. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-5-129-137
- [27] Казанцев С.Г., Залесов С.В., Залесов А.С. Оптимизация лесопользования в производных березняках Среднего Урала. Екатеринбург: Изд-во УГЛТУ, 2006. 156 с.
- [28] Грязькин А.В., Новикова М.А., Новиков Я.А. Особенности естественного возобновления березы на вырубках // ИзВУЗ Лесной журнал, 2016. № 4 (352). С. 81–88.
- [29] Усольцев В.А., Цепордей И.С., Ковязин В.Ф., Уразова А.Ф., Борников А.В. Биомасса генеративных органов сосны обыкновенной и березы повислой в градиенте загрязнений от Карабашского медеплавильного завода на Урале // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии, 2021. № 234. С. 23–52.
- [30] Грязькин А.В., Беяева Н.В., Данилов Д.А., Ванджурак Г.В., Хунг В.В. Изменчивость толщины и массы коры березы по длине ствола // ИзВУЗ Лесной журнал, 2019. № 2(368). С. 32–39.
- [31] Saikkonen K, Saikkonen O, Helander M, Saloniemi I. *Betula pendula* Roth survival and growth in treeline is affected by genotype and environment // Scientific Reports, 2025, v. 15(1), p. 3597. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-87478-7>
- [32] Данченко А.М., Бударрагин В.А. О природе черных особей березы повислой // Лесоведение, 1976. № 4. С. 88.
- [33] Рыкунин С.Н., Каптелкин А.А. Влияние ложного ядра березы на объемный выход ламелей из заболонной зоны для клееного щита // ИзВУЗ Лесной журнал, 2019. № 6 (372). С. 202–212.
- [34] Сингатуллин И.К., Шайхразиев Ш.Ш., Глушко С.Г. Естественное возобновление березы повислой (*Betula pendula* Roth.) в лесотепной зоне Республики Татарстан // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 5. С. 14–21. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-5-14-21
- [35] Лаврова О.П., Петров Д.А., Аржаева Е.В., Мирошкина Д.Ю. Аллелопатическое влияние деревьев на формирование травянистого покрова в их подкороновом пространстве // Инновации в ландшафтной архитектуре: Материалы VIII науч.-практ. конф., Нижний Новгород, 21 марта 2012 г. Нижний Новгород: Изд-во Нижегородского государственного архитектурно-строительного университета, 2012. С. 60–64.
- [36] Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П., Бабаев Р.Н., Бабаев А.Н. Сравнительная оценка пигментного состава листьев березы карельской (*Betula pendula* var. *carelica* Merckl.) и березы повислой (*Betula pendula* Roth) // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2025. Т. 29. № 3. С. 5–16. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-3-5-16
- [37] Сарбаева Е.В. Оценка экосистемных услуг зеленых насаждений г. Йошкар-Олы // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология, 2024. Т. 24. № 2. С. 214–224.
- [38] Тагирова О.В., Кулагин А.Ю. Сезонная изменчивость листьев березы повислой (*Betula pendula* Roth) в условиях промышленного загрязнения окружающей среды (Уфимский промышленный центр, Республика Башкортостан) // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2025. Т. 29. № 3. С. 65–91. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-3-65-91
- [39] Авдеева Е.В., Черникова К.В., Рудо А.И., Кишкан Ю.В. Устойчивое развитие городов, экологические функции и экосистемные услуги природных компонентов в условиях городской среды // Хвойные бореальной зоны, 2024. Т. 42. № 3. С. 56–64.
- [40] Ветчинникова Л.В., Титов А.Ф. Оценка перспектив интродукции карельской березы // Труды Карельского научного центра Российской академии наук, 2021. № 3. С. 21–35.
- [41] Ветчинникова Л.В., Титов А.Ф. Интродукция карельской березы // Успехи современной биологии, 2021. Т. 141. № 3. С. 296–309.
- [42] Ветчинникова Л.В., Титов А.Ф. Интродукция карельской березы: история, опыт и оценка перспектив // Hortus Botanicus, 2023. Т. 18. С. 310–331.
- [43] Бабаев Р.Н., Бессчетнова Н.Н. Перспективы лесных культур березы карельской в Российской Федерации и Республике Беларусь // Экономические аспекты развития АПК и лесного хозяйства. Лесное хозяйство Союзного государства России и Белоруссии:

Материалы междунар. науч.-практ. конф., Нижний Новгород, 26 сентября 2019 года. Нижний Новгород: Изд-во Нижегородской ГСХА, 2019. С. 78–82.

[44] Gubaev R, Karzhaev D, Grigoreva E, Lytkin K, Safron-ycheva E, Volkov V, Nesterchuk V, Vetchinnikova L,

Zhigunov A, Potokina E. Dissection of figured wood trait in curly birch (*Betula pendula* Roth var. *carelica* (Mercklin) Hämet-Ahti) using high-throughput genotyping // Scientific Reports, 2024, v. 14(1), p. 5058. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-55404-y>

Сведения об авторах

Крекова Яна Алексеевна — канд. с.-х. наук, ТОО «Казахский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации им. А.Н. Букейхана», zalesovsv@m.usfeu.ru

Залесов Сергей Вениаминович  — д-р с.-х. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», zalesovsv@m.usfeu.ru

Поступила в редакцию 20.05.2025.

Одобрено после рецензирования 22.07.2025.

Принята к публикации 31.07.2025.

ADVANCED INTRODUCED SPECIES TO EXPANDING SPECIES DIVERSITY OF BIRCH FORESTS IN NORTHERN KAZAKHSTAN

Y.A. Krekova¹, S.V. Zalesov² 

¹A.N. Bukeikhan Kazakh Research Institute of Forestry and Agroforestry, 58, Kirov st., 021704, Shchuchinsk, Republic of Kazakhstan

²Ural State Forestry University, 37, Sibirsky tract st., 620100, Ekaterinburg, Russia

zalesovsv@m.usfeu.ru

The article presents data on the distribution of birch plantations in the Republic of Kazakhstan, as well as their representation in the forest fund of the Republic of Belarus and the Russian Federation. It has been determined that of the 83 birch species currently identified in the Republic of Kazakhstan, two species of birch, namely European white birch (*Betula pendula* Roth) and Pubescent birch (*B. pubedcens* Ehrh.), grow naturally and form plantations. These species do not only form natural plantations, but are also actively used in landscaping, agroforestry, reforestation and afforestation. The prospects and taxation indicators for 11 taxa of the Birch genus (*Betula* L.) growing in the arboretum of the A.N. Bukeikhan Kazakh Research Institute of Forestry and Agroforestry (KazRIFA) have been investigated. It has been established that in the territory of Northern Kazakhstan the most promising species for introduction are Karelian birch (*B. pendula* Roth var. *carelica* (Mercklin) Hämet Ahti) and Asian white birch (*B. platyphylla* Sukaczev.), which surpass other taxa, including local ones, in height and trunk diameter. Despite some lag in height, Pubescent birch (black-barked form of (*B. pendula* Roth) and Manchurian birch (*B. mandshurica* (Regel.) Nakai) are best suitable for artificial afforestation and reforestation. Keller's birch (*B. kelleriana* Sukacz.), Daurian's birch (*B. dahurica* Pall.) and Erman's birch (*B. ermanii* Cham.) can be recommended for landscaping.

Keywords: birch, *Betula* L., area, stock, plantations, Kazakh Uplands, introduction

Suggested citation: Krekova Y.A., Zalesov S.V. *Perspektivnyye introdutsenty dlya rasshireniya vidovogo raznoobraziya bereznyakov v Severnom Kazakhstane* [Advanced introduced species to expanding species diversity of birch forests in Northern Kazakhstan]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2025, vol. 29, no. 5, pp. 75–85. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-5-75-85

References

- [1] Wani S., Tantray Y., Gupta R.C., Jan I., Zargar S.A. *Betula* L.: Distribution, Ecology and Phytochemicals. *Betula: Ecology and Uses*. Editor: Carl T. Bertelsen. New York: Nova Science Publishers, 2000, 182 p.
- [2] *Flora Kazakhstana. Rod Betula* L. [Flora of Kazakhstan. Genus *Betula* L.]. Ed. N.V. Pavlov. Alma-Ata: Publishing house of the Academy of Sciences of the Kazakh SSR, 1960, v. 3, pp. 55–65.
- [3] Danchenko A.M. *Populyatsionnaya izmenchivost' berezy* [Population variability of birch]. Novosibirsk: Science, 1990, 205 p.
- [4] Kabanova S.A., Kabanov A.N., Danchenko M.A., Shakhmatov P.F., Skott S.A. *Izucheniye morfologicheskikh priznakov i fluktuiruyushchey sposobnosti listovogo apparata berezy povisloy* [Study of morphological features and fluctuating ability of the leaf apparatus of silver birch]. *Prirodobustroistvo*, 2021, no. 4, pp. 116–122.
- [5] Zalesov S.V., Belov L.A., Zalesova Ye.S., Opletayev A.S., Suyundikov ZH.O. *Nadzemnaya fitomassa iskusstvennykh berezovykh nasazhdeniy v sanitarno-zashchitnoy zone g. Astany* [Aboveground phytomass of artificial birch plantations in the sanitary protection zone of Astana]. *Agrarnyy vestnik Urala* [Agrarian Bulletin of the Urals], 2014, no. 9 (127), pp. 68–71.
- [6] Zalesov S.V., Belov L.A., Dancheva A.V., Mukanov B.M., Opletayev A.S., Suyundikov ZH.O. *Proizvoditel'nost' iskusstvennykh berezovykh nasazhdeniy v zelenoy zone goroda Astany* [Productivity of artificial birch plantations in the green zone of Astana]. *Vestnik sel'skokhozyaystvennykh nauk Kazakhstana* [Bulletin of agricultural sciences of Kazakhstan], 2014, no. 9, pp. 53–60.

- [7] Zalesov S.V., Belov L.A., Dancheva A.V., Zalesova Ye.S., Opletayev A.S., Suyundikov ZH.O. *Nadzemnaya fitomassa i ploshchad' poverkhnosti assimilyatsionnogo apparata iskusstvennykh berezovykh drevostoyev v zelenoy zone g. Astana* [Aboveground phytomass and surface area of the assimilation apparatus of artificial birch stands in the green zone of Astana]. Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Bulletin of the Altai State Agrarian University], 2015, no. 3 (125), pp. 55–62.
- [8] Zakharov A.B., Besschetnov V.P. *Anomalii vetvleniya berezy (Betula) v zashchitnykh lesnykh polosakh avtomagistralei* [Anomalies in birch (Betula) branching in protective forest belts of highways]. Russian Forestry J., 2019, no. 5 (371), pp. 95–104.
- [9] Kozlovskiy B.L., Ogorodnikova T.K., Fedorinova O.N., Kuropyatnikov M.V. *Otsenka ustoychivosti vidov semeystva Betulaceae S.F. Gray k bolezniam pri introduktsii v Rostovskoy oblasti* [Assessment of resistance of species of the Betulaceae S.F. Gray family to diseases during introduction in the Rostov Region]. Ekologicheskiy Vestnik Severnogo Kavkaza [Ecological Bulletin of the North Caucasus], 2012, v. 8, no. 4, pp. 51–53.
- [10] Yemel'yanova O.YU., Markova M.A., Firsov A.N. *Perspektivy introduktsii rasteniy roda Betula L. v Orlovskoy oblasti* [Prospects for the introduction of plants of the genus Betula L. in the Oryol region]. Sovremennoe sadovodstvo [Modern gardening], 2018, no. 4 (28), pp. 61–69. <https://doi.org/10.24411/2312-6701-2018-10409>
- [11] Babayev R.N., Beschetnova N.N., Beschetnov V.P. *Soderzhaniye i balans zapasnykh veshchestv v pobegakh aborigennoy i introdutsirovannykh v Nizhegorodskuyu oblast' vidov i form berezy* [Content and balance of reserve substances in the shoots of native and introduced to the Nizhny Novgorod region species and forms of birch]. Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo khozyaystva [Proceedings of the St. Petersburg Research Institute of Forestry], 2022, no. 1, pp. 59–71. <https://doi.org/10.21178/2079-6080.2022.1.59>
- [12] Martyushov P.A., Korosteleva M.V., Markovskaya A.N., Kotova V.S., Zalesov S.V. *Rol' botanicheskikh sadov v opredelenii perspektivnosti drevesnykh introdutsentov* [The role of botanical gardens in determining the prospects of woody introducers]. Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal [International Research J.], 2022, no. 12 (129), pp. 1–9. DOI: <https://doi.org/10.23670.IRJ.2022.126.20>
- [13] Vstovskaya T.N. *Dekorativnyye formy berezy (Betula), rekomenduyemye dlya pervichnogo ispytaniya v kul'ture v Sibiri* [Ornamental forms of birch (Betula) recommended for primary testing in culture in Siberia]. Rastitel'nyy mir Aziatskoy Rossii: Vestnik Tsentral'nogo sibirskogo botanicheskogo sada SO RAN [Flora of Asian Russia: Bulletin of the Central Siberian Botanical Garden of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences], 2012, no. 1(9), pp. 119–126.
- [14] Kraynova A.A. *Perspektivy introduktsii dalekarliyskoy berezy dlya ozeleneniya severnykh gorodov* [Prospects for the introduction of Dalecarlian birch for landscaping northern cities]. Aktual'nyye problemy razvitiya lesnogo kompleksa: Materialy XXI Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. [Actual problems of forest complex development: Proceedings of the XXI Int. scientific and technical. conf.], Vologda, December 5, 2023. Vologda: Vologda State University, 2023, pp. 68–70.
- [15] Dubovitskaya O.YU., Masalova L.I. *Perspektivy rasshireniya ustoychivogo assortimenta drevesnykh rasteniy dlya landshaftnogo stroitel'stva s ispol'zovaniyem severoamerikanskikh introdutsentov* [Prospects for expanding the sustainable range of woody plants for landscape construction using North American introduced species]. Sovremennoye sadovodstvo [Modern gardening], 2013, no. 4 (8), pp. 80–91.
- [16] Yemel'yanova O.YU., Tsoy M.F. *Otsenka sostoyaniya i sokhraneniye genofonda rasteniy semeystva berezovyye (Betulaceae C.A. Agardh) dendrariya VNIISPK* [Assessment of the state and conservation of the gene pool of birch family plants (Betulaceae C.A. Agardh) of the VNIISPK arboretum]. Sovremennoye sadovodstvo [Modern gardening], 2015, no. 4 (16), pp. 86–96.
- [17] Solov'yeva M.V., Zalesov S.V., Zalesova Ye.S., Bun'kova N.P., Krekova YA.A. *Perspektivnyye khvoynyye introdutsenty dlya ozeleneniya i rasshireniya biologicheskogo raznoobraziya na Srednem Urale* [Promising coniferous introducers for landscaping and expanding biological diversity in the Middle Urals]. Aktual'nyye problemy lesnogo kompleksa [Actual problems of the forest complex], 2019, no. 54, pp. 157–159.
- [18] Masalova L.I., Firsov A.N., Yemel'yanova O.YU., Tsoy M.F. *Otsenka stepeni i dekorativnosti tsveteniya i plodonosheniya rasteniy semeystva berezovyye (Betulaceae C.A. Agardh)* [Evaluation of the degree and decorativeness of flowering and fruiting of plants of the birch family (Betulaceae C.A. Agardh)]. Seleksiya i sortorazvedeniye sadovykh kul'tur [Breeding and variety cultivation of garden crops], 2017, v. 4, no. 1–2, pp. 87–89.
- [19] Nagimov Z.YA., Shevelina I.V., Korostelev I.F. *Pribory, instrumenty i ustroystva dlya taksatsii lesa* [Devices, tools and devices for forest taxation]. Ekaterinburg: USFTU, 2019, 214 p.
- [20] Nagimov Z.YA., Shevelina I.V., Nagimov V.Z., Artem'yeva I.N. *Lesotaksatsionnyye izmereniya* [Forest taxation measurements]. Ekaterinburg: USFTU, 2021, 95 p.
- [21] Baginskiy V.F., Lapitskaya O.V. *Biometriya v lesnom khozyaystve* [Biometrics in forestry]. Gomel: GSU named after F. Skorina, 2017, 276 p.
- [22] Druzhinin F.N., Pilipko Ye.N. *Metodologiya issledovaniy lesnykh ekosistem* [Methodology of forest ecosystem research]. Vologda-Molochnoe: Vologda State Medical Academy, 2018, 132 p.
- [23] Shevelina I.V., Nuriyev D.N., Nagimov Z.YA. *Stroyeniye, rost i sostoyaniye gorodskikh ozelenitel'nykh posadok berezy povisloy* [Structure, growth and condition of urban landscaping plantings of silver birch]. Yekaterinburg: USFTU, 2020, 146 p.
- [24] *Poyasnitel'naya zapiska k materialam gosudarstvennogo lesnogo kadastra i kadastra osobo okhranyayemykh lesnykh territoriy lesnogo fonda Respubliki Kazakhstan po sostoyaniyu na 1 yanvarya 2023 goda* [Explanatory note to the materials of the State forest cadastre and the cadastre of specially protected forest territories of the Forest fund of the Republic of Kazakhstan as of January 1, 2023]. Almaty 2023, 132 p.
- [25] Bukhtik M.I., Trukhnova D.S. *Lesnoye khozyaystvo Belarusi: effektivnoye ispol'zovaniye* [Forestry of Belarus: efficient use]. Ustoychivoye razvitiye ekonomiki: sostoyaniye, problemy, perspektivy: Sb. trudov XVI mezhdunar. nauch.-prakt. konf. V 2-kh chastyakh [Sustainable development of the economy: state, problems, prospects: Coll. of works of the XVI international. scientific-practical. conf. In 2 parts], Pinsk, April 29, 2022. Part I. Pinsk: Polesie State University, 2022, pp. 21–25.
- [26] Gorbunova V.D., Menshchikov S.L. *Svyaz' soderzhaniya pollyutantov v list'yakh berezy povisloy s zhiznennym sostoyaniem drevostoya na primere AO «Karabashmed»* [Connection between pollutant content in silver birch leaves and stand vital state at JSC «Karabashmed»]. Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin, 2024, vol. 28, no. 5, pp. 129–137. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-5-129-137
- [27] Kazantsev S.G., Zalesov S.V., Zalesov A.S. *Optimizatsiya lesopol'zovaniya v proizvodnykh bereznyakakh Srednego Urala* [Optimization of forest management in secondary birch forests of the Middle Urals]. Ekaterinburg: USLTU, 2006, 156 p.
- [28] Gryaz'kin A.V., Novikova M.A., Novikov YA.A. *Osobennosti yestestvennogo vozobnovleniya berezy na vyrubkakh* [Features of natural regeneration of birch in clearings]. Russian Forestry J., 2016, no. 4 (352), pp. 81–88.

- [29] Usol'tsev V.A., Tsepordey I.S., Kovyazin V.F., Urazova A.F., Bornikov A.V. *Biomassa generativnykh organov sosny obyknovennoy i berezy povisloy v gradiyente zagryazneniy ot Karabashskogo medeplavil'nogo zavoda na Urale* [Biomass of generative organs of Scots pine and silver birch in the pollution gradient from the Karabash copper smelter in the Urals]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [Bulletin of the St. Petersburg Forest Engineering Academy], 2021, no. 234, pp. 23–52.
- [30] Gryaz'kin A.V., Belyayeva N.V., Danilov D.A., Vandzhurak G.V., Khung V.V. *Izmenchivost' tolshchiny i massy kory berezy po dline stvola* [Variability of Birch Bark Thickness and Weight Along the Trunk Length]. *Russian Forestry J.*, 2019, no. 2(368), pp. 32–39.
- [31] Saikkonen K, Saikkonen O, Helander M, Saloniemi I. *Betula pendula* Roth survival and growth in treeline is affected by genotype and environment // *Scientific Reports*, 2025, v. 15(1), p. 3597. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-87478-7>
- [32] Danchenko A.M., Budaragin V.A. *O prirode chernykh osobey berezy povisloy* [On the Nature of Black Silver Birch Specimens]. *Lesovedenie*, 1976, no. 4, p. 88.
- [33] Rykunin S.N., Kaptelkin A.A. *Vliyaniye lozhnogo yadra berezy na ob'yemnyy vykhod lameley iz zabolonnoy zony dlya kleynogo shchita* [The influence of birch false core on the volumetric yield of lamellas from the sapwood zone for glued panels]. *Russian Forestry J.*, 2019, no. 6 (372), pp. 202–212.
- [34] Singatullin I.K., Shakhraev Sh.Sh., Glushko S.G. *Estestvennoe vozobnovlenie berezy povisloy (Betula pendula Roth) v lesotepnoy zone Respubliki Tatarstan* [Betula pendula Roth natural regeneration in forest-steppe zone of Tatarstan Republic]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 5, pp. 14–21. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-5-14-21
- [35] Lavrova O.P., Petrov D.A., Arzhayeva Ye.V., Miroshkina D.YU. *Allelopaticheskoye vliyaniye derev'yev na formirovaniye travyanistogo pokrova v ikh podkronovom prostranstve* [Allelopathic influence of trees on the formation of herbaceous cover in their undercrown space]. *Innovatsii v landshaftnoy arkhitekture: mater. VIII nauch.-prakt. konf.* [Innovations in landscape architecture: materials of the VIII scientific and practical. conf.], Nizhny Novgorod, March 21, 2012. Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, 2012, pp. 60–64.
- [36] Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Babaev R.N., Babaev A.N. *Sravnitel'naya otsenka pigmentnogo sostava list'ev berezy karel'skoy (Betula pendula var. carelica Merckl.) i berezy povisloy (Betula pendula Roth)* [Comparative assessment of pigment composition in Karelian birch (*Betula pendula* var. *carelica* Merckl.) and Silver birch (*Betula pendula* Roth) leaves]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2025, vol. 29, no. 3, pp. 5–16. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-3-5-16
- [37] Sarbayeva Ye.V. *Otsenka ekosistemnykh uslug zelenykh nasazhdeniy g. Yoshkar-Oly* [Assessment of ecosystem services of green spaces in Yoshkar-Ola]. *Izvestiya Saratovskogo universiteta. Novaya seriya. Seriya: Khimiya. Biologiya. Ekologiya* [Bulletin of the Saratov University. New series. Series: Chemistry. Biology. Ecology], 2024, v. 24, no. 2, pp. 214–224.
- [38] Tagirova O.V., Kulagin A.Yu. *Sezonnaya izmenchivost' list'ev berezy povisloy (Betula pendula Roth) v usloviyakh promyshlennogo zagryazneniya okruzhayushchey sredy (Ufimskiy promyshlennyy tsentr, Respublika Bashkortostan)* [Seasonal variability of birch leaves (*Betula pendula* Roth) under conditions of industrial environment pollution (Ufa industrial centre, Republic of Bashkortostan)]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2025, vol. 29, no. 3, pp. 65–91. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-3-65-91
- [39] Avdeyeva Ye.V., Chernikova K.V., Rudo A.I., Kishkan YU.V. *Ustoychivoye razvitiye gorodov, ekologicheskiye funktsii i ekosistemnyye uslugi prirodnykh komponentov v usloviyakh gorodskoy sredy* [Sustainable development of cities, ecological functions and ecosystem services of natural components in the urban environment]. *Khvoynyye boreal'noy zony* [Conifers of the boreal zone], 2024, v. 42, no. 3, pp. 56–64.
- [40] Vetchinnikova L.V., Titov A.F. *Otsenka perspektiv introduktsii karel'skoy berezy* [Assessment of the prospects for the introduction of Karelian birch]. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk* [Transactions of the Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2021, no. 3, pp. 21–35.
- [41] Vetchinnikova L.V., Titov A.F. *Introduktsiya karel'skoy berezy* [Introduction of Karelian birch]. *Uspekhi sovremennoy biologii* [Advances in modern biology], 2021, v. 141, no. 3, pp. 296–309.
- [42] Vetchinnikova L.V., Titov A.F. *Introduktsiya karel'skoy berezy: istoriya, opyt i otsenka perspektiv* [Introduction of Karelian birch: history, experience and assessment of prospects]. *Hortus Botanicus*, 2023, v. 18, pp. 310–331.
- [43] Babayev R.N., Beschetnova N.N. *Perspektivy lesnykh kul'tur berezy karel'skoy v Rossiyskoy Federatsii i Respublike Belarus* [Prospects for Karelian birch forest crops in the Russian Federation and the Republic of Belarus]. *Ekonomicheskiye aspekty razvitiya APK i lesnogo khozyaystva. Lesnoye khozyaystvo Soyuznogo gosudarstva Rossii i Belorussii: Mater. mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Economic aspects of the development of the agro-industrial complex and forestry. Forestry of the Union State of Russia and Belarus: Proceedings of the international scientific-practical. conf.], Nizhny Novgorod, September 26, 2019. Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, 2019, pp. 78–82.
- [44] Gubaev R., Karzhaev D., Grigoreva E., Lytkin K., Safronycheva E., Volkov V., Nesterchuk V., Vetchinnikova L., Zhigunov A., Potokina E. *Dissection of figured wood trait in curly birch (Betula pendula Roth var. carelica (Mercklin) Hämet-Ahti) using high-throughput genotyping*. *Scientific Reports*, 2024, v. 14(1), p. 5058. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-55404-y>

Authors' information

Krekova Yana Alekseyevna — Cand. Sci. (Agriculture) of the A.N. Bukeikhan Kazakh Research Institute of Forestry and Agroforestry, zalesovsv@m.usfeu.ru

Zalesov Sergey Veniaminovich  — Dr. Sci. (Agriculture), Professor of the Ural State Forestry University, zalesovsv@m.usfeu.ru

Received 20.05.2025.

Approved after review 22.07.2025.

Accepted for publication 31.07.2025.

Вклад авторов: все авторы в равной доле участвовали в написании статьи
 Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
 Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article
 The authors declare that there is no conflict of interest

ОЦЕНКА СТРУКТУРЫ ГОДИЧНОГО КОЛЬЦА У СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*PINUS SYLVESTRIS* L.) В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА

С.Р. Кузьмин✉, Н.А. Кузьмина

Институт леса имени В.Н. Сукачёва Сибирского отделения Российской академии наук (ИЛ СО РАН) — обособленное подразделение ФГБНУ ФИЦ КНЦ СО РАН, Россия, 660036, г. Красноярск, Академгородок, 50, стр. 28

skr_7@mail.ru

Представлена оценка влияния относительной влажности воздуха на ширину годичных колец и долю поздней древесины у климатипов сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) разного географического происхождения, тестируемых в условиях лесостепи Новосибирской области и южной тайги Красноярского края. Выявлена и показана наиболее значимая корреляция признаков структуры древесины с относительной влажностью воздуха за определенные периоды на основе среднемесячных данных. Установлены основные различия между климатипами по характеру динамики ширины годичного кольца, связи структуры древесины с определенными временными интервалами в течение вегетационного периода. Выявлены различия между климатипами в корреляции с относительной влажностью в условиях лесостепи. В южной тайге, наоборот, — при одинаково значимом влиянии относительной влажности мая — июня на ширину годичного кольца отмечается различный характер ее динамики, который выражается не только в разных максимумах прироста, но и разнообразном характере восстановления радиального прироста после засушливых условий 2003 г.

Ключевые слова: географические культуры, климат, относительная влажность, адаптация, ширина годичного кольца, реакция на погоду

Ссылка для цитирования: Кузьмин С.Р., Кузьмина Н.А. Оценка структуры годичного кольца у сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в зависимости от относительной влажности воздуха // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2025. Т. 29. № 5. С. 86–97. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-5-86-97

При оценке реакции деревьев на условия окружающей среды с точки зрения возникновения относительно засушливых или оптимальных условий в ходе онтогенеза относительная влажность воздуха (%) определяется как интегральный показатель. Этот показатель объединяет влияние температуры воздуха и количества выпавших осадков на реакцию деревьев, которая оценивается с помощью анализа структуры годичных колец. Общая закономерность зависимости транспирации от насыщенности водой атмосферного воздуха выражается следующим утверждением: чем меньше относительная влажность воздуха, тем выше интенсивность транспирации [1]. Таким образом, снижение относительной влажности воздуха способствует потере влаги растениями, в частности, через устьица. Использование относительной влажности воздуха как показателя, оказывающего влияние на ширину годичного кольца, в некоторых случаях дает более высокие значения коэффициента корреляции, чем при использовании данных по количеству

осадков или температуре воздуха [2–4]. Данные по ширине годичного кольца успешно использовались для реконструкции относительной влажности воздуха мая — июня [5]. Наряду со связью с температурой атмосферного воздуха относительная влажность воздуха имеет значимую корреляцию с такими переменными окружающей среды, как потоки диоксида углерода (валовая продуктивность экосистемы и чистый экосистемный обмен), дефицит давления водяного пара, фотосинтетически активная радиация [6], изотопы кислорода в ранней и поздней древесине [7]. Относительная влажность воздуха является ключевым фактором в адаптации устьиц к воздействию диоксида углерода [8].

Для территорий, которые расположены вблизи морей и океанов, в частности для Балтийского региона, с повышением температуры воздуха увеличивается количество осадков [9]. Этот факт способствует расширению исследований в области оценки влияния увеличения относительной влажности воздуха на ксилему древесных растений. Результаты экспериментальных исследований свидетельствуют о том, что, например, увеличение относительной влажности воздуха приводит к умеренным

изменениям в структуре и функционировании гибридной осины (*Populus tremula* L. x *Populus tremuloides* Michx.) [10], снижению плотности древесины у березы повислой (*Betula pendula* Roth) [11]. Исследованиями влияния эмболии клеток ксилемы, вызванной искусственной засухой, выявлены ограничения восстановления газового обмена у сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) [12]. Изучение деревьев, произрастающих в природных условиях, с признаками потери хвои и даже гибели отдельных особей вследствие сильных засух, показало, что несмотря на воздействие засух, деревья формируют трахеиды с высокими показателями гидравлического диаметра для эффективной транспортировки воды, невзирая на угрозу эмболии [13].

Изменения в гидравлических характеристиках ксилемы возникают по причине физиологической засухи в результате воздействия заморозков [14]. Одним из вариантов адаптации к таким условиям называют увеличение толщины клеточных стенок трахеид в ксилеме хвои [15]. Таким образом, причины засух и их последствия для деревьев могут быть разными.

В Сибири летом в 2010 и 2012 гг. была зафиксирована аномальная жара, хотя увеличивающиеся тенденции повышения температуры здесь были ниже, чем на северо-западе Китая и в Центральной Азии. Кроме того, в Сибири в летний период зафиксирована тенденция снижения количества ливневых осадков [16]. В Южной Сибири в летние месяцы не выявлено значимых изменений по индексу сухости и гидротермическим условиям за период 1980–2020 гг. Однако продолжительность засух в 2000–2020 гг. в течение вегетационного периода увеличилась, как и число экстремальных явлений, в частности избыточного увлажнения [17].

Исследования по испытанию происхождений сосны обыкновенной, выполненные в разные годы (1951–1996 гг.), кроме стран бывшего СССР, продолжаются на экспериментальных объектах в Испании [18, 19], Германии [20], Польше [21, 22], Турции [23], Боснии и Герцеговине [24], Швеции, Финляндии [19], Венгрии [25] и других странах. Современные исследования связаны в основном с вопросами адаптации растений к климатическим изменениям, перспективами лесовосстановительных мероприятий и создания плантаций в различных условиях обитания.

Цель работы

Цель работы — оценка влияния относительной влажности воздуха на ширину годичных колец и долю поздней древесины у климатипов сосны обыкновенной разного географического

происхождения, тестируемых в условиях лесостепи Новосибирской области и южной тайги Красноярского края.

Материалы и методы

Данные по среднемесячной относительной влажности воздуха получены из специализированных массивов для климатических исследований [26]. База данных среднемесячной относительной влажности воздуха содержит среднемесячные значения по 518 метеорологическим станциям России, начиная с 1966 г. по настоящее время [27]. Объем данных позволяет использовать этот источник при сравнительных аналитических исследованиях на широком диапазоне географических пунктов, включая данные Метеорологической станции II разряда «Камень-на-Оби» и Гидрометеорологической обсерватории «Богучаны», расположенные поблизости к двум пунктам испытания сосны обыкновенной с ее географическими культурами — в Сузунском и Богучанском лесничествах.

Объект исследований — потомства шести происхождений сосны обыкновенной, испытываемые в географических культурах, созданных в 1977 г. в Богучанском лесничестве Красноярского края (южная тайга) и Сузунском лесничестве Новосибирской области (лесостепь) в рамках единой государственной сети географических культур в СССР [28].

Участки в Новосибирской области и Красноярском крае различаются между собой почвенными условиями (темно-серая лесная почва в южной тайге, дерново-подзолистая — в лесостепи) и другими характеристиками [29]. В эксперименте представлены климатипы: богучанский и сузунский (контрольные), из средней тайги Архангельской области (плесецкий), южной тайги Красноярского края (енисейский) и горно-таежных областей на юге Сибири — из Тывы (балгазынский) и Республики Алтай (чемальский). Для каждого климатипа отбиралось по 10 деревьев, древесные керны исследовали с двух противоположных сторон (юго-восточной и северо-западной), данные по которым усреднялись. Методика сбора древесных кернов по каждому климатипу в условиях разных географических культур, лабораторные исследования, статистические методы и подходы обработки данных были едиными [30, 31].

Результаты и обсуждение

В географических культурах в лесостепи (Сузунский район Новосибирской области) у всех сравниваемых климатипов максимум

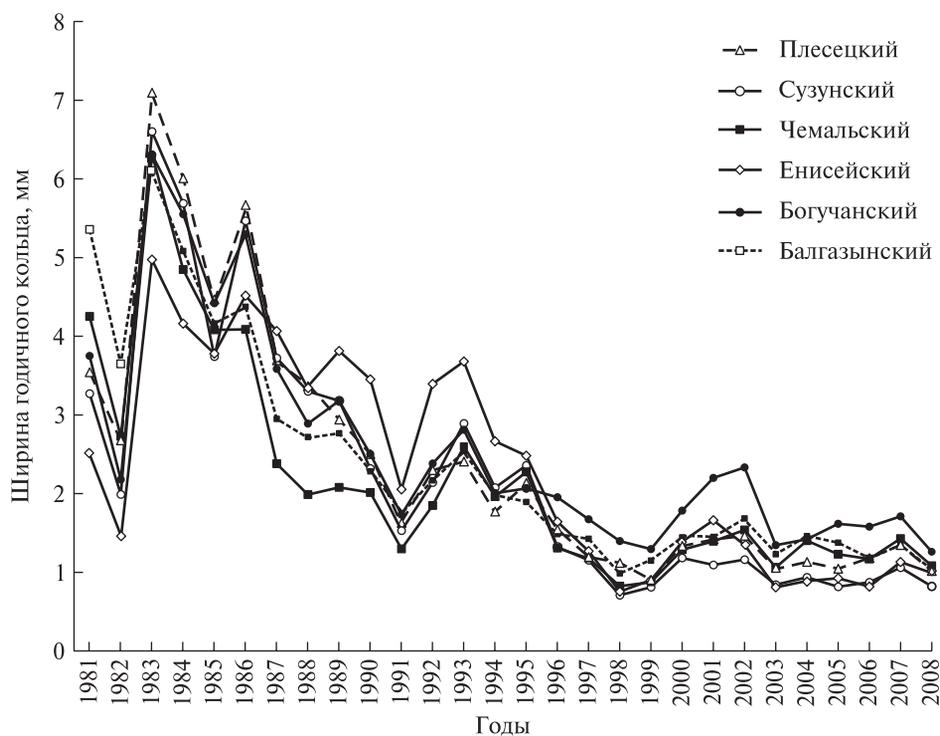


Рис. 1. Средняя динамика ширины годичного кольца у шести климатипов в географических культурах в лесостепи с 1981 по 2008 гг.

Fig. 1. Average annual ring width dynamics in six climatypes in geographical crops in the forest-steppe from 1981 to 2008

прироста отмечается в одном биологическом возрасте — 9 лет (1983). После периода максимальных значений прироста (1983–1986 гг.) у всех климатипов в лесостепи до 20-летнего возраста отмечается период значимого снижения радиального прироста, который можно охарактеризовать отрицательной линейной зависимостью. Этот факт также выявлен у енисейского климатипа ($y = -0,1874x + 4,8352$; $R^2 = 0,70$), у которого отмечается медленный спад прироста после максимума по сравнению с остальными климатипами. Максимум радиального прироста этого климатипа в среднем не превышает 5 мм, тогда как у остальных он выше 6 мм (рис. 1).

Анализ динамики ширины годичного кольца (ШГК, мм) в условиях лесостепи показал, что у потомства всех сравниваемых климатипов с 20 до 32-летнего возраста (1996–2008 гг.) отсутствует значимая линейная тенденция снижения радиального годичного прироста. Коэффициент детерминации (R^2) линейной зависимости ШГК с 20 до 32 лет — очень низкий: от 0,04, до 0,17. График динамики ШГК также показывает, что для данного периода отсутствуют признаки значимой тенденции на снижение или увеличение ШГК. Данный факт позволяет выполнить ранговый корреляционный анализ между многолетними среднемесячными значениями

Т а б л и ц а 1

Коэффициент ранговой корреляции r_s между относительной влажностью воздуха за отдельные месяцы или периоды и шириной годичного кольца в географических культурах в лесостепи

Ranking correlation coefficient r_s between relative air humidity for individual months or periods and annual ring width in geographical crops in the forest-steppe

Климатип	Отдельный месяц или период	Коэффициент корреляции r_s	Уровень значимости p
Плесецкий	Август	0,88	<0,001
Сузунский	Август	0,82	<0,001
Богучанский	Август	0,81	<0,001
Чемальский	Июль–август	0,77	<0,01
Енисейский	Май–август	0,77	<0,01
Балгазынский	Август	0,74	<0,01

относительной влажности воздуха и реальными значениями ШГК. В результате проведенного анализа выявлены значимые коэффициенты ранговой корреляции Спирмена (r_s) (табл. 1).

Т а б л и ц а 2

Коэффициенты ранговой корреляции r_s между относительной влажностью воздуха за отдельные месяцы или периоды и долей поздней древесины в географических культурах в лесостепи

Ranking correlation coefficients r_s between relative air humidity for individual months or periods and the proportion of latewood in geographical crops in the forest-steppe

Климатип	Периоды, отдельные месяцы и их отношение	Коэффициент корреляции r_s	Уровень значимости p
Плесецкий	Август / апрель + май	0,46	<0,05
Сузунский	Август / апрель + май	0,64	<0,001
Богучанский	Август / апрель + май	0,73	<0,001
Чемальский	Август / апрель	0,54	<0,01
Енисейский	Май + июль + август + сентябрь	0,50	<0,01
Балгазынский	Август / апрель	0,52	<0,01

Как следует из табл. 1, енисейский климатип имеет высокий коэффициент корреляции между ШГК и относительной влажностью воздуха за более продолжительный период — с мая по август по сравнению с другими климатипами, имеющими высокие и значимые связи с одним или двумя месяцами во второй половине вегетационного периода, как в случае с чемальским климатипом. Предполагается, что повышение влажности в первой половине вегетационного периода (май — июнь) способствуют формированию крупных клеток с увеличенным радиальным размером трахеид у енисейского климатипа, что значимо сказывается на увеличении ШГК.

В то же время тенденция к раннему началу вегетационного периода у енисейского климатипа представляется одной из причин его низких показателей сохранности и роста в высоту в раннем возрасте [32]. В 30-летнем возрасте енисейский климатип уступает по сохранности контрольному сузунскому климатипу — на 68 % [33], возможно вследствие морозобойных повреждений и риска обширной эмболии в начале вегетационного периода, когда формируются крупные клетки с тонкими стенками. Кроме того, это может касаться повреждений корневой системы. Енисейский климатип хорошо растет в условиях песчаной почвы [34], однако на суглинках лесостепи при перепадах температуры в начале вегетационного периода возникают серьезные повреждения клеток и тканей, в том числе и в корневой системе, вследствие большего содержания воды, которая при низких значениях температуры замерзает.

Балгазынский климатип, место происхождения которого связано с дерново-боровыми супесчаными почвами [35] и относительно более

теплыми климатическими условиями по сравнению с остальными климатипами, в возрасте 30 лет демонстрирует в лесостепи Новосибирской области превышение по росту высоту над енисейским на 30,7 %, уступая сузунскому климатипу менее 5 % [33]. В лесостепи Западного Забайкалья балгазынский климатип не уступает по приростам местному — заудинскому климатипу, уступая ему только 2,9 % по выживаемости [36]. Данные результаты показывают, что условия местопроисхождения влияют на период, с которым отмечается у потомства климатипов значимая корреляция с относительной влажностью воздуха. Ранние сроки начала вегетационного периода при перемещении потомства популяций сосны обыкновенной в более теплые условия, но с вероятностью возникновения заморозков, могут способствовать снижению сохранности потомства, по причине раннего начала формирования трахеид, имеющих такие анатомические особенности, как большие просветы и тонкие клеточные стенки в ранней древесине. В южной тайге было установлено, что енисейский климатип в ранней древесине имеет среднее значение радиального диаметра трахеид ($38,4 \pm 0,32$) мкм, тогда как у балгазынского он ниже — ($33,6 \pm 0,46$) мкм [37]. Низкие значения радиального диаметра, а следовательно, и просвета клеток в начале вегетационного периода, могут способствовать устойчивости к резкому возникновению заморозков.

Коэффициенты корреляции между относительной влажностью воздуха и долей поздней древесины у климатипов представлены в табл. 2. Положительное влияние относительной влажности воздуха в августе и ее отрицательное влияние в апреле, либо апреле и мае, отмечается у пяти из шести исследуемых климатипов.

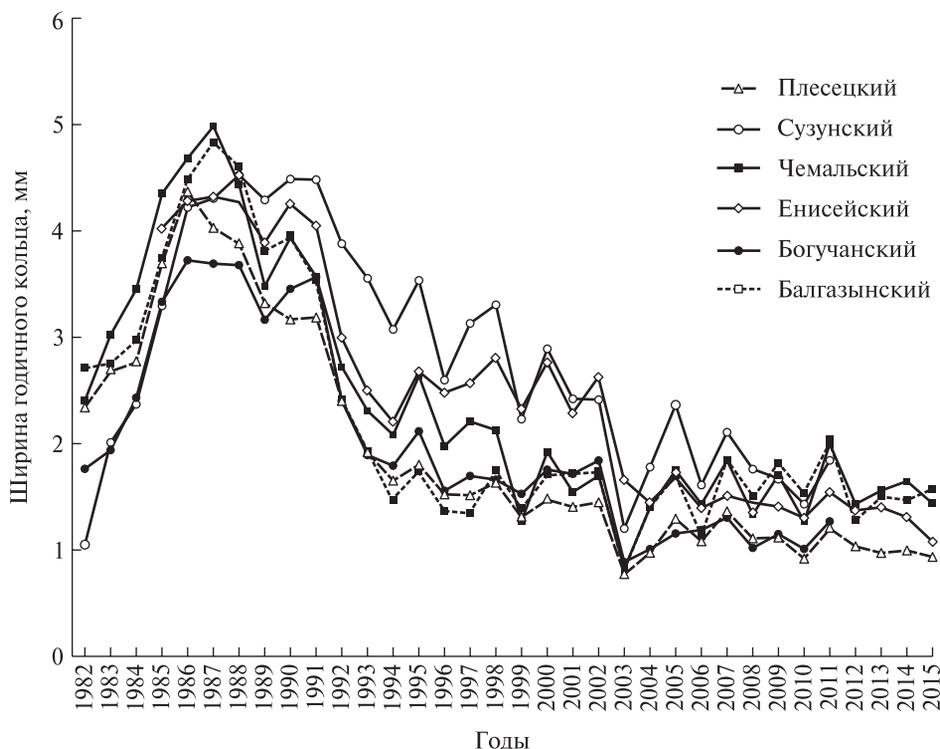


Рис. 2. Средняя динамика ширины годичного кольца у шести климатипов в географических культурах в южной тайге с 1982 по 2015 гг.

Fig. 2. Average annual ring width dynamics in six climatypes in geographical crops in the southern taiga from 1982 to 2015

Только у енисейского климатипа зафиксировано положительное влияние относительной влажности воздуха мая и июля на долю поздней древесины. Таким образом, у потомства этого климатипа такое положительное влияние в первой половине вегетационного периода свидетельствует о более раннем переходе к формированию поздней древесины. Увеличение ШГК связано с формированием клеток, имеющих сниженный радиальный размер просвета и более широкие клеточные стенки, поэтому по своим характеристикам их можно отнести к поздним трахеидам.

В географических культурах в южной тайге после относительной стабилизации радиальных приростов в возрасте культур 20...35 лет фиксируются годы с резким падением ШГК, в частности 1999 и 2003 г. В 2003 г. отмечен наибольший спад, причем у некоторых климатипов он совпал с минимальным значением ШГК. На данном возрастном этапе у сосны обыкновенной этих климатипов характер динамики ШГК носит ступенчатый характер с тенденцией к постепенному уменьшению, без возвращения к прежнему уровню. Общая динамика радиального прироста с возрастом у некоторых климатипов имеет значимую тенденцию к снижению (рис. 2).

Относительная влажность воздуха в 2003 г. имела низкие значения: в мае — 49 %, в июне — 54 %. Падение радиального прироста с 2002 г. по 2003 г. составило 37...54 %. При этом для лесостепи по относительной влажности воздуха были отмечены схожие значения, однако резкое снижение динамики радиального прироста не зафиксировано (табл. 3).

Сравнительный индивидуальный анализ климатипов сосны показал неоднозначный характер динамики ШГК. Так, в южной тайге у контрольного богучанского климатипа в период с 20 до 35 лет фиксируется тенденция к снижению ШГК ($y = -0,0458x + 1,7485$; $R^2 = 0,48$), вызванная разделением на два периода — до 2003 г. (со значениями выше 1,5 мм) и после (со значениями ниже 1,3 мм). Спад радиального прироста с 2002 г. по 2003 г. составил 52 %. У сузунского климатипа в период с 20 до 35 лет отмечается тенденция к снижению ШГК ($y = -0,0952x + 2,9826$; $R^2 = 0,55$) и резкий спад прироста — 50 %. Плесецкий климатип в период с 20 до 39 лет имеет тенденцию к снижению ШГК ($y = -0,0305x + 1,5267$; $R^2 = 0,54$), а спад составил 47 %. Балгазынский климатип в исследуемый период не имеет ни положительной, ни отрицательной тенденции по ШГК

Т а б л и ц а 3

Темпы развития радиального прироста (ширина годичного кольца, мм) и восстановление после резкого спада в 2003 г. в условиях южной тайги

Rates of radial growth (tree-ring width, mm) and recovery after a sharp decline in 2003 in the southern taiga

Климатип	Высокие приросты в 1985–1991 гг.	Спад в 1992–1995 гг.	Перед резким спадом (1996–2002 гг.)	ШГК, мм	Спад, %	После 2003 г.	Максимальное превышение над 2003 г.	
							%	год
Плесецкий	3,67	1,94	1,48	0,78	47	1,08	76	2007
Сузунский	4,23	3,51	2,71	1,20	50	1,82	98	2005
Богучанский	3,52	2,05	1,68	0,89	52	1,14	46	2007
Чемальский	4,21	2,44	1,82	0,82	51	1,57	144	2011
Енисейский	4,16	2,60	2,55	1,66	37	1,41	1	2005
Балгазынский	4,13	1,88	1,57	0,79	54	1,56	157	2011

($y = 0,0056x + 1,4662$; $R^2 = 0,01$), при этом спад в 2003 г. составил 54 %. Спад радиального прироста у чемальского климатипа составил 51 %, причем он не имеет значимой отрицательной тенденции по ШГК ($y = -0,0183x + 1,8113$; $R^2 = 0,10$). Заметная тенденция к снижению ШГК ($y = -0,0852x + 2,7145$; $R^2 = 0,77$) выявлена у енисейского климатипа, при этом спад составил 37 %.

Полученные данные (см. табл. 3) показывают, что чемальский и балгазынский климатипы после минимального значения ШГК в 2003 г. демонстрируют успешное восстановление показателей ШГК, значительно превышающих этот минимум. Енисейский климатип отличается устойчивой тенденцией к снижению ШГК, при отсутствии восстановления фиксированных ранее относительно высоких показателей ШГК. В ходе анализа выявлено, что южные по происхождению климатипы из горно-таежных областей (балгазынский и чемальский) лучше адаптируются к засушливым условиям по сравнению с остальными климатипами.

В связи с тем, что балгазынский климатип не имеет выраженной тенденции радиального прироста с 17-летнего возраста, для него корреляция относительной влажности воздуха проводилась с реальными значениями, для остальных климатипов была проведена индексация ШГК с помощью полинома третьей степени (табл. 4).

Таким образом, корреляционный анализ ШГК и относительной влажностью воздуха в условиях южной тайги показал единообразие значимой связи у климатипов сосны обыкновенной в первой половине вегетационного периода. В отличие от условий лесостепи, в южной тайге ШГК не увеличивается за счет повышения влажности в августе, поскольку

Т а б л и ц а 4

Коэффициент ранговой корреляции r_s относительной влажности воздуха за май — июнь и ширины годичного кольца в географических культурах в южной тайге

Ranking correlation coefficient r_s between relative air humidity for May–June and tree-ring width in geographic crops in the southern taiga

Климатип	Коэффициент корреляции r_s	Уровень значимости p	Густота древостоя, шт./га
Плесецкий	0,62	<0,01	4444
Сузунский	0,63	<0,01	1508
Богучанский	0,76	<0,001	3064
Чемальский	0,62	<0,01	1282
Енисейский	0,56	<0,01	2076
Балгазынский	0,78	<0,001	3044

новые клетки к этому времени перестают продуцироваться.

Выполнен расчет коэффициентов ранговой корреляции между относительной влажностью воздуха и долей поздней древесины у климатипов в южной тайге (табл. 5). Значимые коэффициенты корреляции доли поздней древесины с определенными периодами показывают, что влияние относительной влажности воздуха на итоговое значение доли поздней древесины изменяется от месяца к месяцу.

Для сузунского, чемальского и балгазынского климатипов отмечаются максимальные значения коэффициента корреляции с одним и тем же отношением средней относительной влажности воздуха в мае и августе к относительной

Т а б л и ц а 5

Коэффициент ранговой корреляции r_s относительной влажности воздуха за отдельные месяцы или периоды и доли поздней древесины в географических культурах в южной тайге

Ranking correlation coefficient r_s between relative air humidity for individual months or periods and the proportion of latewood in geographic crops in the southern taiga

Климатип	Периоды, отдельные месяцы и их отношение	Коэффициент корреляции r_s	Уровень значимости p
Плесецкий	Май + август / апрель + июнь + сентябрь	0,60	<0,001
Сузунский	Май + август / апрель + июнь	0,82	<0,001
Богучанский	Апрель + июнь + сентябрь	-0,41	<0,05
Чемальский	Май + август / апрель + июнь	0,48	<0,01
Енисейский	Октябрь / сентябрь	0,50	<0,01
Балгазынский	Май + август / апрель + июнь	0,59	<0,001

влажности в апреле и июне. Положительное влияние мая и августа связано с тем, что именно в эти месяцы клетки ксилемы находятся на стадии утолщения клеточных стенок и высокие значения относительной влажности воздуха способствуют формированию более толстой клеточной стенки. Низкие значения относительной влажности воздуха в апреле и июне, наоборот, приходится на другие стадии — образование самих клеток и их радиальное растяжение. При низких значениях относительной влажности воздуха в этот период снижаются число клеток, образованных в первой половине вегетационного периода, и их радиальное растяжение, что, в общем, способствует увеличению доли поздней древесины.

Для плесецкого климатипа дополнительно отмечено влияние погодных условий сентября, объясняемое тем, что в это время возможно растяжение клеток, которое в случаях отсутствия четкого сформированного перехода к поздней древесине, способствует снижению доли поздней древесины при итоговой оценке. Этот факт совпадает с ранее полученными данными о том, что северные климатипы имеют тенденцию к более позднему снижению радиальных размеров трахеид в годичном кольце, по сравнению с южными [37].

Для местного богучанского климатипа максимум коэффициента корреляции между относительной влажностью воздуха и долей поздней древесины отмечается для средних значений за апрель, июнь и сентябрь. Отсутствие корреляции с маем и августом позволяет предположить, что в это время толщина клеточных стенок увеличивается, что не обеспечивает такой значимый эффект для доли поздней древесины, как процессы, связанные с формированием новых клеток ксилемы и их растяжением, которые

характерны для апреля, июня и сентября, или зависят от относительной влажности воздуха в эти месяцы. Чем выше относительная влажность воздуха в эти месяцы, тем ниже доля поздней древесины.

Енисейский климатип, у которого отмечается значимая корреляция ШПК и отношения относительной влажности воздуха октября месяца к ее значению сентября существенно отличается от остальных. Если предположить, что формирование ксилемы у этого климатипа происходит не только в сентябре, но и в октябре, когда высокая относительная влажность воздуха, то фиксируется ее положительное влияние на увеличение толщины клеточных стенок. В южной тайге енисейский климатип имеет существенно более низкое значение доли поздней древесины по сравнению с остальными климатипами [31], поскольку внутрительное снижение радиального просвета трахеид и увеличение толщины их клеточных стенок у этого климатипа отмечается на более поздних этапах формирования годичного кольца.

Длительное формирование относительно крупных просветов трахеид у енисейского климатипа в годичном кольце происходит в результате проявления реакции на господствующие условия в пункте испытания. В южной тайге этот климатип в меньшей степени, чем другие сравниваемые климатипы, способен испытывать дефицит влаги, что подтверждается результатами опытов по потере массы хвои, собранной с потомства енисейского климатипа, тестируемого в условиях экспериментального хозяйства «Погорельский бор». Одним из механизмов устойчивости енисейского климатипа к потере влаги служит низкий темп потери хвоей своей массы при высушивании [38].

По результатам исследования выявлено, что климатические условия оказывают существенное влияние на характер отклика ШГК в различных условиях испытания. В южной тайге ШГК зависит от погоды в первой половине вегетационного периода, тогда как в условиях лесостепи погодные условия августа оказывают более значимое влияние, подтверждая, что в более теплых условиях лесостепи вегетационный период длится дольше, что способствует увеличению годичного радиального прироста.

Выводы

Между одноименными климатипами сосны обыкновенной, тестируемыми в географических культурах в лесостепи и южной тайге отмечаются различия по динамике ширины годичного кольца и характеру отклика на показатели относительной влажности воздуха. В условиях лесостепи все исследуемые климатипы достигают относительной стабилизации радиального прироста к 20-летнему возрасту географических культур, в южной тайге относительная стабилизация прироста к этому времени отмечается только у самого южного из исследуемых климатипов — балгазынского из Тывы.

Среднемесячная относительная влажность воздуха августа в условиях лесостепи оказывает значимое влияние на ширину годичных колец, в южной тайге у всех климатипов значимое влияние относительной влажности воздуха связано со среднемесячными показателями мая и июня. Эти результаты показывают, что в более теплых условиях лесостепи влияние погодных условий на ширину годичных колец продолжает сохраняться во второй половине вегетационного периода.

В южной тайге погодные условия в 20–30-летнем возрасте географических культур оказывают определяющее влияние на характер динамики ширины годичного кольца, что выражается в наличии резких спадов прироста и ступенчатом характере постепенного снижения темпов радиального прироста.

Работа выполнена в рамках базового проекта «Биоразнообразие лесов Сибири: эколого-динамический, генетико-селекционный, физико-химический и ресурсно-технологический аспекты» (FWES-2024-0028).

Список литературы

- [1] Мушинская О.А., Рябинина З.Н., Мушинская Н.И. Транспирация как составная часть водного режима растений и ее изучение у видов рода *Populus* L. // Вестник Оренбургского государственного университета, 2007. № 6. С. 95–99.
- [2] Jing M., Zhu L., Cherubini P., Yuan D., Li Z., Wang X., Liu S. Responses of radial growth of *Pinus massoniana* and *Castanopsis eyrei* to climate change at different elevations in south China // *Ecological Indicators*, 2022, v. 145, article 109602. DOI: 10.1016/j.ecolind.2022.109602
- [3] Wang A., Gao X., Zhou Z., Yang H., Zhao X., Wang Y., Li M., Zhao X. Dynamics responses of tree-ring growth to drought over Loess Plateau in the past three decades // *Ecological Indicators*, 2022, v. 143, article 109423. DOI: 10.1016/j.ecolind.2022.109423
- [4] Li J., Peng J., Wei X., Peng M., Li X., Liu Y., Li J. Stability assessment of tree ring growth of *Pinus armandii* Franch in response to climate change based on slope directions at the Lubanling in the Funiu Mountains, China // *J. of Forestry Research*, 2024, v. 35, article 44. DOI: 10.1007/s11676-024-01698-7
- [5] Li J., Peng K., Wei X., Liu Y., Li J., Peng M., Li X., Zhang K., Peng J. May–June relative humidity variation recorded by tree ring width of *Pinus armandii* Franch since 1863 in the Funiu Mountains, central China // *Quaternary International*, 2024, v. 696, pp. 38–49. DOI: 10.1016/j.quaint.2024.04.004
- [6] Ge M., Wang W., Ruan H., Wang G., Zhang S., Yu S. Dynamics of CO₂ fluxes and environmental responses in a *Poplar* plantation // *Frontiers in Environmental Science*, 2024, v. 12. DOI: 10.3389/fenvs.2024.1443779
- [7] Wang H., Zhang Y., Xiao C., Shi S., Xu J., Meadows M.E., Shi J. Seasonal relative humidity recorded in tree-ring earlywood and latewood $\delta^{18}\text{O}$ in the West Tianmu Mountains, southeastern China // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2024, v. 655, article 112551. DOI: 10.1016/j.palaeo.2024.112551
- [8] Talbott L.D., Rahveh E., Zeiger E. Relative humidity is a key factor in the acclimation of the stomatal response to CO₂ // *J. of Experimental Botany*, 2003, v. 54, iss. 390, pp. 2141–2147. DOI: 10.1093/jxb/erg215
- [9] Kont A., Jaagus J., Aunap R. Climate change scenarios and the effect of sea-level rise for Estonia // *Global and Planetary Change*, 2003, v. 36, pp. 1–15. DOI: 10.1016/S0921-8181(02)00149-2
- [10] Jasińska A.K., Alber M., Tullus A., Rahi M., Sellin A. Impact of elevated atmospheric humidity on anatomical and hydraulic traits of xylem in hybrid aspen // *Functional Plant Biology*, 2015, v. 42, no. 6, pp. 565–578. DOI: 10.1071/FP14224
- [11] Sellin A., Tullus A., Niglas A., Õunapuu E., Karusion A., Lõhmus K. Humidity-driven changes in growth rate, photosynthetic capacity, hydraulic properties and other functional traits in silver birch (*Betula pendula*) // *Ecological Research*, 2013, v. 28, iss. 3, pp. 523–535. DOI: 10.1007/s11284-013-1041-1
- [12] Rehschuh R., Cecilia A., Zuber M., Faragó T., Baumbach T., Hartmann H., Jansen S., Mayr S., Ruehr N. Drought-induces xylem embolism limits the recovery of leaf gas exchange in Scots pine // *Plant Physiology*, 2020, v. 184, iss. 2, pp. 852–864. DOI: 10.1104/pp.20.00407
- [13] Kiorapostolou N., Camarero J.J., Carrer M., Sterck F., Brigita B., Sangüesa-Barreda G., Petit G. Scots pine trees react to drought by increasing xylem and phloem conductivities // *Tree Physiology*, 2020, v. 40, iss. 6, pp. 774–781. DOI: 10.1093/treephys/tpaa033

- [14] Cairns D.M. Patterns of winter desiccation in krummholz forms of *Abies lasiocarpa* at treeline sites in Glacier National Park, Montana, USA // *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 2001, v. 83, iss. 3, pp. 157–168. DOI: 10.1111/j.0435-3676.2001.00151.x
- [15] Jankowski A., Wyka T.P., Żytkowiak R., Nihlgård B., Reich P.B., Oleksyn J. Cold adaptation drives variability in needle structure and anatomy in *Pinus sylvestris* L. along a 1,900 km temperate-boreal transect // *Functional Ecology*, 2017, v. 31, iss. 12, pp. 2212–2223. DOI: 10.1111/1365-2435.12946
- [16] Watanabe T., Matsuyama H., Kuzhevskaja I., Nechepurenko O., Chursin V., Zemtsov V. Long-term trends of extreme climate indexes in the southern part of Siberia in comparison with those of surrounding regions // *Atmosphere*, 2023, v. 14, iss. 7, article 1131. DOI: 10.3390/atmos14071131
- [17] Voropay N.N., Ryazanova A.A. Atmospheric droughts in Southern Siberia in the late 20th and early 21st centuries // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, v. 211, article 012062. DOI: 10.1088/1755-1315/211/1/012062
- [18] Alía R., Moro-Serrano J., Notivol E. Genetic variability of Scots pine (*Pinus sylvestris*) provenances in Spain: growth traits and survival // *Silva Fennica*, 2001, v. 35, no. 1, article id 601. DOI: 10.14214/sf.601
- [19] Hallingbäck H.R., Burton V., Vizcaino-Palomar N., Trotter F., Liziniwicz M., Marchi M., Berlin M., Ray D., Benito Garzón M. Managing uncertainty in Scots pine range-wide adaptation under climate change // *Frontiers in Ecology and Evolution*, 2021, v. 9, article 724051. DOI: 10.3389/fevo.2021.724051
- [20] Taeger S., Zang C., Liesebach M., Schneck V., Menzel A. Impact of climate and drought events on growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) provenances // *Forest Ecology and Management*, 2013, v. 307, pp. 30–42. DOI: 10.1016/j.foreco.2013.06.053
- [21] Barzdajn W., Kowalkowski W., Chmura D.J. Variation in growth and survival among European provenances of *Pinus sylvestris* in a 30-year-old experiment // *Dendrobiology*, 2016, v. 75, pp. 67–77. DOI: 10.12657/denbio.075.007
- [22] Szaban J., Jelonek T., Okieńczyc A., Kowalkowski W. Results of a 57-year-long research on variability of wood density of the Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) from different provenances in Poland // *Forests*, 2023, v. 14, iss. 3, article 480. DOI: 10.3390/f14030480
- [23] Gülcü S., Bilir N. Growth and survival variation among Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) provenances // *International J. of Genomics*, 2017, article id 1904623. DOI: 10.1155/2017/1904623
- [24] Memišević Hodžić M., Bejtić S., Ballian D. Interaction between the effects of provenance genetic structure and habitat conditions on growth of Scots pine in international provenance tests in Bosnia and Herzegovina // *South-east European forestry*, 2020, v. 11, no. 1, pp. 11–16. DOI: 10.15177/see-for.20-03
- [25] Matyas C., Balazs P., Nagy L. Climatic stress test of Scots pine provenances in Northeastern Europe reveals high phenotypic plasticity and quasi-linear response to warming // *Forests*, 2023, v. 14, iss. 10, article 1950. DOI: 10.3390/f14101950
- [26] Веселов В.М., Прибыльская И.Р., Мирзеабасов О.А. Специализированные массивы для климатических исследований (ВНИИГМИ-МЦД). URL: <http://aisori-m.meteo.ru/waisori/index.xhtml?idata=18> (дата обращения 14.01.2025).
- [27] Кузнецова В.Н., Давлетшин С.Г., Швець Н.В. 2019. Описание базы данных «Среднемесячная относительная влажность воздуха на метеорологических станциях России». Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации — Мировой центр данных. URL: <http://meteo.ru/data/790-sredn> (дата обращения 14.01.2025).
- [28] Изучение имеющихся и создание новых географических культур: Программа и методика работ / под ред. Е.П. Проказина. Пушкино: Изд-во ВНИИЛМ, 1972. 52 с.
- [29] Наумова Н.Б., Макарикова Р.П., Тараканов В.В., Кузьмина Н.А., Новикова Т.Н., Милютин Л.И. Влияние климатических типов сосны обыкновенной на некоторые химические и микробиологические свойства почв // *Сибирский экологический журнал*, 2009, Т. 16. № 2. С. 287–292. DOI: 10.1134/S1995425509020106
- [30] Кузьмин С.Р., Роговцев Р.В. Радиальный рост и доля поздней древесины у сосны обыкновенной в географических культурах Западной и Средней Сибири // *Сибирский лесной журнал*, 2016. № 6. С. 113–125. DOI: 10.15372/SJFS20160611
- [31] Кузьмин С.Р. Реакция ширины годичного кольца и доли поздней древесины у сосны обыкновенной на погодные условия в географических культурах // *ИзВУЗ Лесной журнал*, 2020. № 5. С. 64–80. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-5-64-80
- [32] Демиденко В.П., Алексеев Ю.Б., Урусов В.М. Географические культуры сосны и ели на юге Западной Сибири // *Лесное хозяйство*, 1984. № 3. С. 40–42.
- [33] Роговцев Р.В., Тараканов В.В., Ильичев Ю.Н. Продуктивность географических культур сосны в условиях среднеобского бора // *Лесное хозяйство*, 2008. № 2. С. 36–38.
- [34] Кузьмин С.Р. Динамика радиального роста сосны обыкновенной в географических культурах на дерново-подзолистой песчаной почве // *Хвойные бореальной зоны*, 2012. Т. XXX. № 1–2. С. 106–110.
- [35] Тарасов П.А., Гайдукова А.Ф., Иванов В.А. Последовательные изменения гидротермических параметров почв Балгазынского бора и проблемы его восстановления // *Хвойные бореальной зоны*, 2013. Т. XXXI. № 5–6. С. 15–21.
- [36] Новикова Т.Н. Линейный прирост и дифференциация сибирских климатических типов сосны в географических культурах в Западном Забайкалье // *Хвойные бореальной зоны*, 2010. Т. XXVII. № 1–2. С. 143–146.
- [37] Кузьмин С.Р., Ваганов Е.А., Кузьмина Н.А., Милютин Л.И. Особенности трахеид древесины у климатических типов *Pinus sylvestris* (*Pinaceae*) в географических культурах // *Ботанический журнал*, 2008. Т. 93. № 1. С. 10–21.
- [38] Кузьмин С.Р., Карпюк Т.В., Кузьмина Н.А. Динамика массы хвои у сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) разного происхождения при высушивании // *Ботаника и ботаники в меняющемся мире: Труды Междунар. науч. конф., посвященной 135-летию кафедры ботаники и 145-летию Томского государственного университета (Томск, 14–16 ноября 2023 г.)*. Томск: Издательство Томского университета, 2023. С. 245–247.

Сведения об авторах

Кузьмин Сергей Рудольфович  — д-р биол. наук, вед. науч. сотр. лаборатории лесной генетики и селекции, Институт леса имени В.Н. Сукачёва Сибирского отделения Российской академии наук (ИЛ СО РАН) — обособленное подразделение ФГБНУ ФИЦ КНЦ СО РАН, skr_7@mail.ru

Кузьмина Нина Алексеевна — канд. биол. наук, ст. науч. сотр. лаборатории лесной генетики и селекции, Институт леса имени В.Н. Сукачёва Сибирского отделения Российской академии наук (ИЛ СО РАН) — обособленное подразделение ФГБНУ ФИЦ КНЦ СО РАН, kuz@ksc.krasn.ru

Поступила в редакцию 07.04.2025.

Одобрено после рецензирования 16.07.2025.

Принята к публикации 25.07.2025.

ASSESSMENT OF SCOTS PINE (*PINUS SYLVESTRIS* L.) ANNUAL TREE RING STRUCTURE RESPONSE TO AIR RELATIVE HUMIDITY

S.R. Kuz'min , **N.A. Kuz'mina**

Sukachev Institute of Forest SB RAS — Separate Division of FRC KSC SB RAS, build. 28, Akademgorodok no. 50, 660036, Krasnoyarsk, Russia

skr_7@mail.ru

Correlation analysis methods were used to evaluate the effect of relative humidity on the width of annual rings and the proportion of late wood in Scots pine climatypes of different geographical origin tested in the forest-steppe of the Novosibirsk Region and the southern taiga of the Krasnoyarsk Territory. The most significant correlations of wood structure features with relative humidity over certain periods based on average monthly data have been identified and shown. The main differences between climatypes have been identified in terms of the dynamics of the annual ring width, the relationship of the wood structure with certain time intervals during the growing season. Despite the same age of reaching the maxima of the annual ring width in the forest-steppe, differences between climatypes in correlations with relative humidity were revealed in these conditions. In the southern taiga, on the contrary, with the equally significant influence of relative humidity from May and June on the width of the annual ring, there is a different character of its dynamics, which is expressed not only in different maxima of growth, but also in the different nature of the radial growth recovery after the dry conditions in 2003.

Keywords: provenance trial, climate, air relative humidity, adaptation, tree ring width, weather response

Suggested citation: Kuz'min S.R., Kuz'mina N.A. *Otsenka struktury godichnogo kol'tsa u sosny obyknovnoy (Pinus silvestris L.) v zavisimosti ot otnositel'noy vlazhnosti vozdukh* [Assessment of Scots pine annual tree ring structure response to air relative humidity]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2025, vol. 29, no. 5, pp. 86–97. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-5-86-97

References

- [1] Mushinskaya O.A., Ryabinina Z.N., Mushinskaya N.I. *Transpiratsiya kak sostavnaya chast' vodnogo rezhima rasteniy i ee izuchenie u vidov roda Populus L.* [Transpiration as an integral part of the aquatic regime of plants and its study in species of the genus *Populus L.*]. *Vestnik OGU [Vestnik of OSU]*, 2007, no. 6, pp. 95–99.
- [2] Jing M., Zhu L., Cherubini P., Yuan D., Li Z., Wang X., Liu S. Responses of radial growth of *Pinus massoniana* and *Castanopsis eyrei* to climate change at different elevations in south China. *Ecological Indicators*, 2022, v. 145, article 109602. DOI: 10.1016/j.ecolind.2022.109602
- [3] Wang A., Gao X., Zhou Z., Yang H., Zhao X., Wang Y., Li M., Zhao X. Dynamics responses of tree-ring growth to drought over Loess Plateau in the past three decades. *Ecological Indicators*, 2022, v. 143, article 109423. DOI: 10.1016/j.ecolind.2022.109423
- [4] Li J., Peng J., Wei X., Peng M., Li X., Liu Y., Li J. Stability assessment of tree ring growth of *Pinus armandii* Franch in response to climate change based on slope directions at the Lubanling in the Funiu Mountains, China. *J. of Forestry Research*, 2024, v. 35, article 44. DOI: 10.1007/s11676-024-01698-7
- [5] Li J., Peng K., Wei X., Liu Y., Li J., Peng M., Li X., Zhang K., Peng J. May–June relative humidity variation recorded by tree ring width of *Pinus armandii* Franch since 1863 in the Funiu Mountains, central China. *Quaternary International*, 2024, v. 696, pp. 38–49. DOI: 10.1016/j.quaint.2024.04.004.

- [6] Ge M., Wang W., Ruan H., Wang G., Zhang S., Yu S. Dynamics of CO₂ fluxes and environmental responses in a *Poplar* plantation. *Frontiers in Environmental Science*, 2024, v. 12. DOI: 10.3389/fenvs.2024.1443779
- [7] Wang H., Zhang Y., Xiao C., Shi S., Xu J., Meadows M.E., Shi J. Seasonal relative humidity recorded in tree-ring earlywood and latewood $\delta^{18}\text{O}$ in the West Tianmu Mountains, southeastern China. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2024, v. 655, article 112551. DOI: 10.1016/j.palaeo.2024.112551
- [8] Talbott L.D., Rahveh E., Zeiger E. Relative humidity is a key factor in the acclimation of the stomatal response to CO₂. *J. of Experimental Botany*, 2003, v. 54, iss. 390, pp. 2141–2147. DOI: 10.1093/jxb/erg215
- [9] Kont A., Jaagus J., Aunap R. Climate change scenarios and the effect of sea-level rise for Estonia. *Global and Planetary Change*, 2003, v. 36, pp. 1–15. DOI: 10.1016/S0921-8181(02)00149-2
- [10] Jasińska A.K., Alber M., Tullus A., Rahi M., Sellin A. Impact of elevated atmospheric humidity on anatomical and hydraulic traits of xylem in hybrid aspen. *Functional Plant Biology*, 2015, v. 42, no. 6, pp. 565–578. DOI: 10.1071/FP14224
- [11] Sellin A., Tullus A., Niglas A., Õunapu E., Karusion A., Lõhmus K. Humidity-driven changes in growth rate, photosynthetic capacity, hydraulic properties and other functional traits in silver birch (*Betula pendula*). *Ecological Research*, 2013, v. 28, iss. 3, pp. 523–535. DOI: 10.1007/s11284-013-1041-1
- [12] Rehschuh R., Cecilia A., Zuber M., Faragó T., Baumbach T., Hartmann H., Jansen S., Mayr S., Ruehr N. Drought-induced xylem embolism limits the recovery of leaf gas exchange in Scots pine. *Plant Physiology*, 2020, v. 184, iss. 2, pp. 852–864. DOI: 10.1104/pp.20.00407
- [13] Kiorapostolou N., Camarero J.J., Carrer M., Sterck F., Brigita B., Sangüesa-Barreda G., Petit G. Scots pine trees react to drought by increasing xylem and phloem conductivities. *Tree Physiology*, 2020, v. 40, iss. 6, pp. 774–781. DOI: 10.1093/treephys/tpaa033
- [14] Cairns D.M. Patterns of winter desiccation in krummholz forms of *Abies lasiocarpa* at treeline sites in Glacier National Park, Montana, USA. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 2001, v. 83, iss. 3, pp. 157–168. DOI: 10.1111/j.0435-3676.2001.00151.x
- [15] Jankowski A., Wyka T.P., Żytkowiak R., Nihlgård B., Reich P.B., Oleksyn J. Cold adaptation drives variability in needle structure and anatomy in *Pinus sylvestris* L. along a 1,900 km temperate-boreal transect. *Functional Ecology*, 2017, v. 31, iss. 12, pp. 2212–2223. DOI: 10.1111/1365-2435.12946
- [16] Watanabe T., Matsuyama H., Kuzhevskaya I., Nechepurenko O., Chursin V., Zemtsov V. Long-term trends of extreme climate indexes in the southern part of Siberia in comparison with those of surrounding regions. *Atmosphere*, 2023, v. 14, iss. 7, article 1131. DOI: 10.3390/atmos14071131
- [17] Voropay N.N., Ryazanova A.A. Atmospheric droughts in Southern Siberia in the late 20th and early 21st centuries. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, v. 211, article 012062. DOI: 10.1088/1755-1315/211/1/012062
- [18] Alía R., Moro-Serrano J., Notivol E. Genetic variability of Scots pine (*Pinus sylvestris*) provenances in Spain: growth traits and survival. *Silva Fennica*, 2001, v. 35, no. 1, article id 601. DOI: 10.14214/sf.601
- [19] Hallingbäck H.R., Burton V., Vizcaino-Palomar N., Trotter F., Liziniewicz M., Marchi M., Berlin M., Ray D., Benito Garzón M. Managing uncertainty in Scots pine range-wide adaptation under climate change. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 2021, v. 9, article 724051. DOI: 10.3389/fevo.2021.724051
- [20] Taeger S., Zang C., Liesebach M., Schneck V., Menzel A. Impact of climate and drought events on growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) provenances. *Forest Ecology and Management*, 2013, v. 307, pp. 30–42. DOI: 10.1016/j.foreco.2013.06.053
- [21] Barzdajn W., Kowalkowski W., Chmura D.J. Variation in growth and survival among European provenances of *Pinus sylvestris* in a 30-year-old experiment. *Dendrobiology*, 2016, v. 75, pp. 67–77. DOI: 10.12657/denbio.075.007
- [22] Szaban J., Jelonek T., Okińczyc A., Kowalkowski W. Results of a 57-year-long research on variability of wood density of the Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) from different provenances in Poland. *Forests*, 2023, v. 14, iss. 3, article 480. DOI: 10.3390/f14030480
- [23] Gülcü S., Bilir N. Growth and survival variation among Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) provenances. *International J. of Genomics*, 2017, article id 1904623. DOI: 10.1155/2017/1904623
- [24] Memišević Hodžić M., Bejtić S., Ballian D. Interaction between the effects of provenance genetic structure and habitat conditions on growth of Scots pine in international provenance tests in Bosnia and Herzegovina. *South-east European forestry*, 2020, v. 11, no. 1, pp. 11–16. DOI: 10.15177/see-for.20-03
- [25] Matyas C., Balazs P., Nagy L. Climatic stress test of Scots pine provenances in Northeastern Europe reveals high phenotypic plasticity and quasi-linear response to warming. *Forests*, 2023, v. 14, iss. 10, article 1950. DOI: 10.3390/f14101950
- [26] Veselov V.M., Pribyl'skaya I.R., Mirzeabasov O.A. *Spetsializirovannyye massivy dlya klimaticheskikh issledovaniy (VNIIGMI-MTsD)* [Specialized arrays for climate research (RIHMI–WDC)]. Available at: <http://aisori-m.meteo.ru/waisori/index.xhtml?idata=18> (accessed 14.01.2025).
- [27] Kuznetsova V.N., Davletshin S.G., Shvets' N.V. *Opisanie bazy dannykh «Srednemesyachnaya otositel'naya vlazhnost' vozdukh na meteorologicheskikh stantsiyakh Rossii»* [Description of the database «Average monthly relative humidity at meteorological stations in Russia»]. Vserossiyskiy nauchno-issledovatel'skiy institut gidrometeorologicheskoy informatsii — Mirovoy tsentr dannykh [The All-Russian Scientific Research Institute of Hydrometeorological Information is a global data center]. Available at: <http://meteo.ru/data/790-sredn> (accessed 14.01.2025).
- [28] *Izucheniye imeyushchikhsya i sozdaniye novykh geograficheskikh kul'tur: Programma i metodika rabot* [The study of existing and the creation of new provenance trials: A program and methodology of work]. Ed. E.P. Prokazin. Pushkino: VNIILM, 1972, pp. 52.

- [29] Naumova N.B., Makarikova R.P., Tarakanov V.V., Kuz'mina N.A., Novikova T.N., Milyutin L.I. *Vliyanie klimatipov sosny obyknovennoy na nekotorye khimicheskie i mikrobiologicheskie svoystva pochv* [Effect of climatypes of *Pinus sylvestris* on some chemical and microbiological properties of soil]. *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal* [Contemporary Problems of Ecology], 2009, v. 16, no. 2, pp. 287–292. DOI: 10.1134/S1995425509020106
- [30] Kuz'min S.R., Rogovtsev R.V. *Radial'nyy rost i dolya pozdney drevesiny u sosny obyknovennoy v geograficheskikh kul'turakh Zapadnoy i Sredney Sibiri* [Radial growth and percent of late wood in Scots pine in the provenance trials in Western and Central Siberia]. *Sibirskiy lesnoy zhurnal* [Siberian J. of Forest Science], 2016, no. 6. pp. 113–125. DOI: 10.15372/SJFS20160611
- [31] Kuz'min S.R. *Reaktsiya shiriny godichnogo kol'tsa i doli pozdney drevesiny u sosny obyknovennoy na pogodnye usloviya v geograficheskikh kul'turakh* [Response of Annual Ring Width and Latewood Content of Scots Pine to Weather Conditions in Provenance Trials]. *Russian Forestry Journal*, 2020, no. 5, pp. 64–80. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-5-64-80
- [32] Demidenko V.P., Alekseev Yu.B., Urusov V.M. *Geograficheskie kul'tury sosny i eli na yuge Zapadnoy Sibiri* [Provenance trials of pine and spruce in the south of Western Siberia]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry Journal], 1984, no. 3, pp. 40–42.
- [33] Rogovtsev R.V., Tarakanov V.V., Il'ichev Yu.N. *Produktivnost' geograficheskikh kul'tur sosny v usloviyakh sredneobskogo bora* [Productivity of pine provenance trial plantation in conditions of sredneobskoy forest]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry Journal], 2008, no. 2, pp. 36–38.
- [34] Kuz'min, S.R. *Dinamika radial'nogo rosta sosny obyknovennoy v geograficheskikh kul'turakh na derno-podzolistoy peschanoy pochve* [Dynamics of radial growth of Scots pine in the provenance trial on sod-podzolic sandy soil]. *Khvoynye boreal'noy zony* [Conifers of the Boreal Area], 2012, v. XXX, no. 1–2, pp. 106–110.
- [35] Tarasov P.A., Gaydukova A.F., Ivanov V.A. *Poslepozharnye izmeneniya gidrotermicheskikh parametrov pochv Balgazynskogo bora i problemy ego vosstanovleniya* [Post-fire changes in the hydrothermal parameters of the soils of the Balgazynsky forest and the problems of its restoration]. *Khvoynye boreal'noy zony* [Conifers of the Boreal Area], 2013, v. XXXI, no. 5–6, pp. 15–21.
- [36] Novikova T.N. *Lineynyy prirost i differentsiatsiya sibirskikh klimatipov sosny v geograficheskikh kul'turakh v Zapadnom Zabaykal'e* [Linear growth and differentiation of Siberian pine climatypes in the provenance trial in Western Transbaikalia]. *Khvoynye boreal'noy zony* [Conifers of the Boreal Area], 2010, v. XXVII, no. 1–2, pp. 143–146.
- [37] Kuz'min S.R., Vaganov E.A., Kuz'mina N.A., Milyutin L.I. *Osobennosti trakheid drevesiny u klimatipov Pinus sylvestris (Pinaceae) v geograficheskikh kul'turakh* [Features of wood tracheids in *Pinus sylvestris* (Pinaceae) climatypes in the provenance trial]. *Botanicheskiy zhurnal* [Botanical J.], 2008, v. 93, no. 1. pp. 10–21.
- [38] Kuz'min S.R., Karpyuk T.V., Kuz'mina N.A. *Dinamika massy khvoi u sosny obyknovennoy (Pinus sylvestris L.) raznogo proiskhozhdeniya pri vysushivanii* [Dynamics of the mass of needles of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) of different origin during drying]. *Botanika i botaniki v menyayushchemsya mire* [Elektronnoe izdanie]: Trudy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii, posvyashchennoy 135-letiyu kafedry botaniki i 145-letiyu Tomskogo gosudarstvennogo universiteta [Botany and Botanists in changing world. [Electronic edition]: Proceedings of the International Scientific Conference dedicated to the 135th anniversary of the Department of Botany and the 145th anniversary of Tomsk State University (Tomsk, November 14–16, 2023). Tomsk: Tomsk State University Publ., 2023, pp. 245–247.

This work was carried out as part of the basic project «Biodiversity of Siberian Forests: Ecological-Dynamic, Genetic-Breeding, Physicochemical, and Resource-Technological Aspects» (FWES-2024-0028).

Authors' information

Kuz'min Sergey Rudol'fovich  — Dr. Sci. (Biology), Principal Researcher of Laboratory of Forest Genetics and Breeding, Sukachev Institute of Forest SB RAS — Separate Division of Federal Research Center «Krasnoyarsk Science Center» of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, skr_7@mail.ru

Kuz'mina Nina Alekseevna — Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher of of Laboratory of Forest Genetics and Breeding, Sukachev Institute of Forest SB RAS — Separate Division of Federal Research Center «Krasnoyarsk Science Center» of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, kuz@ksc.krasn.ru

Received 07.04.2025.

Approved after review 16.07.2025.

Accepted for publication 25.07.2025.

Вклад авторов: все авторы в равной доле участвовали в написании статьи
 Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
 Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article
 The authors declare that there is no conflict of interest

РОСТ, ПРОДУКТИВНОСТЬ И СОХРАННОСТЬ ЭКОТИПОВ ЕЛИ В УСЛОВИЯХ КЛИНСКО-ДМИТРОВСКОЙ ГРЯДЫ

П.Г. Мельник

ФГАОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (Мытищинский филиал), Россия, 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

melnik_petr@bk.ru

Представлены результаты исследования экотипов ели в Сенежском участковом лесничестве Клинского филиала Государственного автономного учреждения Московской области (ГАУ МО) «Мособллес», расположенном в пределах Клинско-Дмитровской гряды Смоленско-Московской возвышенности. Представленный спектр испытываемых провениенций довольно широк и в меридианном направлении охватывает ареал рода *Picea* от Калининградской области (Россия) и Прибалтики (Литва, Латвия, Эстония) до Новосибирской и Томской областей (Западная Сибирь, Россия). Установлено лидирование по высоте стволов йонишского (26,4 м), струго-красненского (26,2 м), шарангского (25,9 м), яунелгавского (25,7 м), выгодского (25,6 м) и куменского (25,5 м) экотипов, растущих по Ib классу бонитета. Определен высокий запас стволовой древесины у экотипов из Гродненской, Брестской и Минской областей Белоруссии, Псковской области России и Львовской области Украины. Зафиксирован высокий средний прирост по запасу для лидирующих по продуктивности стволовой древесины провениенций. Дана оценка лесоводственного эффекта по комплексному показателю целесообразности внедрения конкретных провениенций ели. Выявлены перспективные экотипы ели как в России, так и за рубежом.

Ключевые слова: ель, *Picea*, провениенция, экотип, географические лесные культуры, лесоводственный эффект, Клинско-Дмитровская гряда

Ссылка для цитирования: Мельник П.Г. Рост, продуктивность и сохранность экотипов ели в условиях Клинско-Дмитровской гряды // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2025. Т. 29. № 5. С. 98–109.
DOI: 10.18698/2542-1468-2025-5-98-109

В России первые опыты с географическими культурами ели были проведены в Подмосковье в 1893 г. профессором М.К. Турским (1840–1899) на Лесной опытной даче Петровской земледельческой и лесной академии (ныне Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева). Закладка культур ели выполнялась сеянцами, выращенными из девяти образцов семян, главным образом западноевропейского происхождения, полученных из Франции, Германии и Норвегии [1]. Анализ этих посадок показал, что ель из Норвегии погибла вследствие заглушения ее окружающими соснами и осинами, а также навала снега [2]. В 1896 г. проведены посадки саженцами 2–4 лет из семян происхождением из Средней Франции — четыре образца, Фонтенбло (Франция) — два образца, по одному образцу из Дармштадта (Германия), Баварии (Германия), Нанси (Франция), Владимирской губернии и Кеми — всего 11 образцов. Весной 1916 г. профессором Н.С. Нестеровым (1860–1926), преемником опытов профессора М.К. Турского по изучению географической

изменчивости основных лесобразующих пород на Лесной опытной даче Петровской академии, были посажены культуры ели четырехлетними сеянцами из семенного материала происхождения из Келецкой, Сувалкской, Ломжинской, Могилевской, Виленской и Смоленской губерний и пятилетними сеянцами из Курляндской, Ковенской, Московской, Тверской и Казанской губерний на площади 1,19 га. В 1917 г. Н.С. Нестеров заложил еще один опытный объект географических культур ели, представленный шестью пунктами Европейской части России [3].

В посадках М.К. Турского лучшие показатели роста оказались у ели из Дармштадта — 7,7 м, в посадках Н.С. Нестерова — у ели из Нанси — 6,9 м, в то время как у местной ели (из Владимирской губернии) — 4,7 м. Несмотря на медленный рост, местной ели отдано решительное предпочтение. Существенными недостатками елей южного происхождения, в том числе и германской, стали кривизна ствола, а также сильный косослой, значительно снижающие техническую пригодность их древесины. Германская ель чаще страдала от морозов, кроме того, больше, чем местная, подвергалась в жердняках ветро- и снеголому [2].

Интерес европейских лесоводов к проблеме изучения географического происхождения семян возник в конце XIX в. в связи с неудачами при создании лесных культур инорайонными семенами. В географических посадках ели, заложенных в 90-х годах XIX столетия А. Цизляром в Австрии в окрестностях Вены из семян, которые были собраны в разных районах Западной Европы, в Финляндии и в России, были замечены ясно выраженные различия по ежегодному приросту [4]. В 1912 г. при осмотре одновозрастных культур ели, было установлено, что ели из местных семян имели высоту 3–4 м, а из финских — были вдвое ниже [5].

В 1938 г. Международным союзом лесных исследовательских организаций — International Union of Forest Research Organizations (IUFRO) была разработана широкомасштабная программа, согласно которой географические культуры были заложены в Бельгии, Великобритании, Норвегии, Румынии, США, Финляндии, Франции, Чехословакии и Швеции. В 1964–1968 гг. в рамках работы IUFRO заложили вторую серию географических культур ели, охватившую 1100 провениенций всего природного ареала ели [6].

Термин «провениенция» характеризует изначальную принадлежность растений, объединенных по географическому происхождению, к какой-либо группе, часто употребляется зарубежными учеными [7] (далее по тексту термины «климатический экотип» или «климатип», «происхождение», «провениенция» и «вариант» употребляются как синонимы).

Самым «старым» опытом закладки географических культур ели, сохранившимися до наших дней, следует считать объект, заложенный в 1957 г. на территории Свердловского лесничества Щелковского учебно-опытного лесхоза Московского лесотехнического института в северо-восточном Подмоскowie [3]. В культурах ель представлена шестью образцами, происхождением из Котласского лесхоза Архангельской, Череповецкого лесхоза Вологодской, Шарьинского лесхоза Костромской, Алексинского лесхоза Тульской, Касимовского лесхоза Рязанской и Загорского лесхоза Московской областей.

В 1961 г. под руководством профессора М.М. Вересина опытные культуры ели различного географического происхождения заложены в Центральном Черноземье (вне ареала ели) — под Воронежем на площади 1,21 га. Для закладки опыта от Всесоюзной лесосеменной станции было получено 108 образцов семян ели, в том числе 90 образцов ели европейской, 11 — сибирской, 3 — аянской, 3 — ели Шренка и один образец ели восточной [8]. Согласно исследованиям, проведенным на данном объекте

М.М. Вересиним и С.М. Ивановым [9], установлен лучший рост и состояние потомств популяций ели из семян Центральной, Полесской, Прибалтийской и Предуральской провинций.

В 1964–1968 гг. под кураторством Всесоюзной лесосеменной станции была создана довольно представительная сеть географических культур ели, состоящая из семи пунктов в пределах Европейско-Уральского региона СССР [3]. Результаты роста 12-летних географических культур этой серии изложены в работе [10]. Во всех пунктах испытания потомства популяций ели европейской растут лучше образцы потомства елей сибирской и гибридной.

В период с 1976 по 1978 гг. по государственной программе заложена новая сеть географических культур ели, включающая в себя 17 пунктов испытания потомств 58 популяций на общей площади 228 га.

Первые результаты отечественного эксперимента по изучению географических лесных культур ели содержатся в работах Н.С. Нестерова [2], А.С. Яблокова [5], М.М. Вересина [11], А.М. Пальцева [12], Б.Н. Куракина [13], С.А. Ростовцева [14], А.Д. Дурсина [15], А.М. Шутяева [16], Г.Ш. Камалтинова [17], А.Н. Тишечкина [18], М.Д. Мерзленко [19], С.Н. Тарханова [20] и др.

На современном этапе основное внимание при изучении географической изменчивости ели уделяется в основном интенсивности роста [21–27], продуктивности [21–27], сохранности [22–27], радиальному приросту [23, 24, 28, 29], качеству древесины [23–25, 29], репродуктивному потенциалу [23, 31], устойчивости к периодическим колебаниям климата [23, 28, 31] и болезням [29, 32], пигментному составу хвои [33], филогеографии популяций [34] и другим признакам. Однако до сих пор недостаточно работ, посвященных росту, продуктивности и сохранности различных географических провениенций ели в завершающей стадии фазы приспевания.

Цель работы

Цель работы — исследование особенностей роста, продуктивности и сохранности географических экотипов ели в условиях Клиньско-Дмитровской гряды на основании изучения широкого евро-азиатского ареала происхождения в завершающей стадии фазы приспевания.

Объекты и методы исследования

В апреле 1963 г. Главлесхоз РСФСР рекомендовал для повышения продуктивности лесов наряду с общепринятыми методами внедрить

Т а б л и ц а 1
**Агрохимический анализ почвы на
 площади географических культур ели в
 Сенежском участковом лесничестве**
**Agrochemical analysis of soil
 in the spruce planting area
 in the Senezh district forestry**

Гори- зонт	рН солевой вытяжки	Содержание, мг		
		Обменный калий в 1 мг на 100 г почвы	Легкогидро- лизуемый фосфор в 1 мг на 100 г почвы	Гумус
A ₀	4,10	17,40	8,60	2,16
A ₁	4,20	21,20	6,26	–
B ₁	3,90	11,60	9,88	–
B ₂	3,85	16,30	6,92	–

метод географических культур и принял следующее решение: закладку географических культур ели провести в Солнечногорском опытно-показательном леспромхозе Московской области (ныне Клинский филиал ГАУ МО «Мособлес»). В 1965–1967 гг. под руководством главного лесничего, заслуженного лесовода России, канд. с.-х. наук А.М. Пальцева (1925–1996) были выполнены географические посевы (весна 1965 г.) ели европейской, ели сибирской и их гибридов семенами, собранными в пределах ареала ели (48–70° с. ш. и 21–141° в. д.). В течение двух лет (1965–1967) проводили инвентаризацию посевов на 1 октября — 14 образцов не дали всходов. В конце апреля — начале мая 1967 г. были выкопаны двухлетние сеянцы, из них отсортированы 42 420 годных к посадке. Для каждого экотипа выделяли 500 сеянцев, для отдельных 300–450. В 1967 г. весной были заложены географические культуры ели двухлетними сеянцами в 3–4-кратной повторности на площади 8,9 га в Сенежском участковом лесничестве. При закладке учитывали однородность почвенных условий и рельефа.

Почвы участка под географическими культурами ели формировались на покровных суглинках. На всей площади географических культур преобладают дерново-слабоподзолистые, среднесуглинистые на покровном суглинке почвы. Почва на объекте географических культур в Сенежском участковом лесничестве имеет следующие характеристики (табл. 1).

Почва — сильнокислая, богата калием, фосфором обеспечена средне, малогумусирована. Тип условий местопроизрастания — свежая сложная суборь С₂. Всего механизированным способом было высажено 63 экотипа, охваты-

вающих практически весь ареал рода *Picea* от Калининградской области, Прибалтики, Белоруссии и Украины до Новосибирской и Томской областей, с размещением 2×1 м при густоте посадки 5 тыс. сеянцев на 1 га.

Собраны сведения о географическом происхождении семенного материала в разрезе лесосеменных районов и подрайонов [35] (табл. 2).

Начальные фазы роста географических культур ели: приживания, индивидуального роста, смыкания, чащи, жердняка — изучены А.М. Пальцевым и подробно изложены в его публикациях и кандидатской диссертации [36–38]. Фазы формирования стволов и приспевания исследовались другими научными коллективами под руководством П.Г. Мельника [24].

По достижении каждым экотипом ели 53-летнего возраста на пробных площадях была выполнена инструментальная таксация в соответствии с ОСТ 56-69–83 [39]. Из широкого спектра представленных в географических культурах экотипов в 2019 г. было выполнено обследование на общей площади 8,9 га и проведен сплошной пересчет на 48 постоянных пробных площадях по общепринятым в лесной таксации методикам [40]. Географический спектр испытанных в лесных культурах Сенежского лесничества экотипов ели показан на рис. 1.

В камеральных условиях для достоверной оценки по использованию семенного материала конкретных испытываемых форм и провениенций ели рассчитан обобщенный относительный показатель, выраженный в единицах (долях) стандартного отклонения, что широко используется зарубежными учеными [41–43]. Методика расчетов для географических культур сосны обыкновенной и лиственницы подробно изложена в работе [44]. Для объективной оценки роста провениенций на завершающей стадии фазы приспевания использован индекс оценки потомств [46]. Для исследуемых экотипов ели были рассчитаны индексы в 37 лет, 47 лет и 53 года.

Результаты и обсуждение

В период последнего обследования возраст географических лесных культур составил 53 года (биологический возраст ели 55 лет). В этом возрасте культуры ели по своему развитию находились на завершающей стадии фазы приспевания, для которой в целях оптимизации роста искусственного насаждения особо важное значение приобретает текущая густота древостоя. Завершение фазы приспевания совпадает с уменьшением жизненного потенциала по объему ствола до 2,0 [47].

Т а б л и ц а 2

**Материнские насаждения ели в географических посадках
Сенежского участкового лесничества**

Parent spruce stands in the provenance trial of Senezh district forestry

Номер экотипа	Географический район происхождения	Лесосеменной район	Лесосеменной подрайон
95	Россия, Мурманская обл., Полярный лесхоз	1. Кольский	
47	Россия, Республика Карелия, Петрозаводский лесхоз	4. Южно-карельский	
31	Россия, Республика Коми, Сыктывкарский лесхоз	5. Верхнедвинский	б. Вычегодский
37	Россия, Кировская обл., Куменский лесхоз	7. Вятский	а. Кировский
107	Россия, Удмуртская Республика, Ижевский лесхоз		в. Удмуртский
62	Россия, Нижегородская обл., Шарангский лесхоз	8. Ветлужский	
58	Россия, Республика Марий Эл, Сернурский лесхоз		
105	Россия, Республика Татарстан, Арский лесхоз		
40	Россия, Ленинградская обл., Волосовский лесхоз	9. Северо-Западный	а. Ленинградский
45	Россия, Псковская обл., Струго-Красненский лесхоз		б. Новгородско-Псковский
83	Россия, Московская обл., Солнечногорский лесхоз (контроль)	10. Центральный	б. Московский
63	Россия, Владимирская обл., Кольчугинский лесхоз		
69	Россия, Ивановская обл., Заволжский лесхоз		
70	Россия, Ивановская обл., Шуйский лесхоз		
77	Эстония, Таллинский лесхоз	12. Эстонский	а. Прибрежный
73	Латвия, Тукумский лесхоз	13. Латвийский	а. Западный
75	Латвия, Яунелгавский лесхоз		б. Восточный
82	Литва, Йонишкский лесхоз	14. Литовский	б. Средний
38, 39	Россия, Калининградская обл., Полесский леспромхоз	15. Калининградский	
15	Белоруссия, Витебская обл., Поставский лесхоз	16. Белорусский	а. Северный
17	Белоруссия, Гродненская обл., Сморгонский лесхоз		б. Центральный
16	Белоруссия, Минская обл., Логайский лесхоз		
13	Белоруссия, Брестская обл., Кобринский лесхоз	17. Полесский	
4	Украина, Закарпатская обл., Буштынский лесокомбинат	20. Карпатский	а. Высокогорный
5	Украина, Львовская обл., Сколевский лесхоззаг		б. Низкогорный
101	Украина, Черновицкая обл., Путильский лесокомбинат		
99	Украина, Ивано-Франковская обл., Выгодский лесокомбинат		
3	Украина, Волынская обл., Владимир-Волынский лесхоз	21и. Южнополесский	а. Ровенско-Житомирский
34	Россия, Пермский край, Шемейский лесхоз	26. Среднепредуральский	а. Верхнекамский
35	Россия, Пермский край, Добрянский лесхоз		б. Среднекамский
92	Россия, Республика Башкортостан, Инзерский лесхоз	27. Южноуральский	б. Горнолесной западный
55	Россия, Томская обл., Томский лесхоз	42. Приобский	г. Чулымский
56	Россия, Новосибирская обл., Новосибирский лесхоз	45. Салаиро-Кузнецкий	
<i>Примечание.</i> Здесь и далее названия экотипов ели даны в соответствии с актуальными названиями на год закладки географических культур.			

После детального обследования географических культур были исключены из дальнейших исследований волынский (см. табл. 2, № 3), закарпатский (№ 4), владимирский (№ 63) и ивановский (№ 69) экотипы, расположенные на южной границе объекта и выпавшие после засухи 2010 года.

Ввиду небольшого количества представленных на пробной площади деревьев строить какие-либо прогнозы по перспективности этих экотипов недопустимо. В результате обработки полевого материала были получены лесоводственно-таксационные характеристики экотипов ели в географических лесных культурах

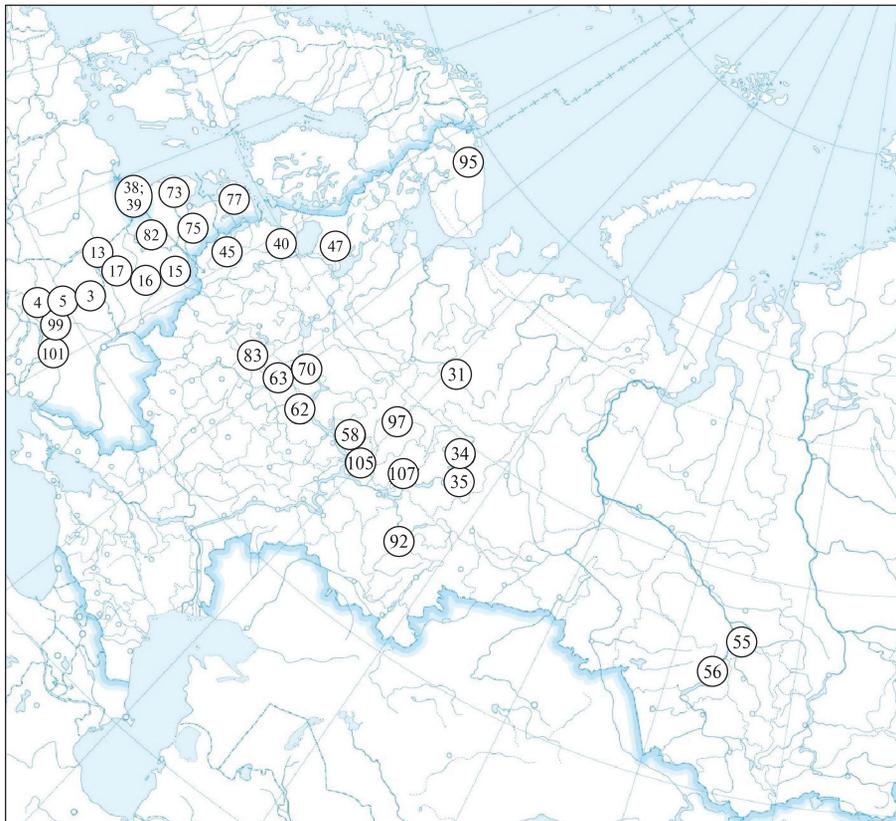


Рис. 1. Пункты сбора семян ели для географических культур Сенежского участкового лесничества Солнечногорского лесхоза Московской области (номера пунктов см. табл. 1)

Fig. 1. Spruce seed collection points in provenance trial of the Senezh district forestry of Solnechnogorsk in the Moscow region (point numbers correspond to Table 1)

Т а б л и ц а 3

Таксационная характеристика 53-летних экотипов ели в географических посадках Сенежского участкового лесничества

Inventory characteristics of 53-year-old spruce ecotypes in provenance trial of the Senezh district forestry

Номер экотипа	Географический район происхождения	$H_{ср}$, м	$D_{1,3}$, см	N , шт./га	M , м ³ /га	$Z_{м^3}$, м ³	$V_{сгв}$, м ³
<i>e</i> — ель европейская							
77	Эстония, Таллинский лесхоз	24,9	21,8	890	437	8,2	0,491
73	Латвия, Тукумский лесхоз	23,0	20,7	694	285	5,4	0,411
75	Латвия, Яунелгавский лесхоз	25,7	21,0	834	395	7,5	0,474
82	Литва, Йонишкский лесхоз	26,4	21,4	1003	495	9,3	0,494
38, 39	Россия, Калининградская обл., Полесский леспромхоз	25,2	21,4	1036	500	9,4	0,482
15	Белоруссия, Витебская обл., Поставский лесхоз	25,2	20,6	1152	504	9,5	0,438
17	Белоруссия, Гродненская обл., Сморгонский лесхоз	24,1	22,4	1180	605	11,4	0,513
16	Белоруссия, Минская обл., Логойский лесхоз	24,0	20,2	1332	545	10,3	0,409
13	Белоруссия, Брестская обл., Кобринский лесхоз	24,7	22,0	1165	578	10,9	0,496
5	Украина, Львовская обл., Сколевский лесхоззаг	24,9	22,2	1101	552	10,4	0,501
101	Украина, Черновицкая обл., Путильский лесокombинат	24,5	21,4	846	391	7,4	0,462
99	Украина, Ивано-Франковская обл., Выгодский лесокombинат	25,6	25,7	443	311	5,9	0,702
В среднем:		24,9	21,7	973	467	8,8	0,480
В процентах относительно контрольного значения:		108,7	97,3	62,3	92,7	88,9	149,1

Окончание табл. 3

Номер экотипа	Географический район происхождения	$H_{\text{ср}}$, м	$D_{1,3}$, см	N , шт./га	M , м ³ /га	Z_m , м ³	$V_{\text{ств}}$, м ³
<i>d</i> — ель европейская с признаками гибридности							
40	Россия, Ленинградская обл., Волосовский лесхоз	23,8	20,1	1145	455	8,6	0,397
45	Россия, Псковская обл., Струго-Красненский лесхоз	26,2	21,6	1150	584	11,2	0,480
83	Россия, Московская обл., Солнечногорский опытный лесхоз (контроль)	22,9	22,3	1561	504	9,9	0,322
70	Россия, Ивановская обл., Шуйский лесхоз	24,0	20,8	890	391	6,9	0,439
В среднем:		24,2	21,2	1187	484	9,1	0,408
В процентах относительно контрольного значения:		105,7	95,1	76,0	96,0	91,9	126,7
<i>c</i> — ель гибридная							
95	Россия, Мурманская обл., Полярный лесхоз	22,6	21,2	200	84	1,6	0,420
47	Россия, Республика Карелия, Петрозаводский лесхоз	24,9	24,7	727	455	8,6	0,626
31	Россия, Республика Коми, Сыктывкарский лесхоз	23,3	21,7	853	395	7,5	0,463
37	Россия, Кировская обл., Куменский лесхоз	25,5	27,1	492	376	7,1	0,764
107	Россия, Удмуртская Республика, Ижевский лесхоз	22,7	25,7	676	411	7,8	0,608
62	Россия, Нижегородская обл., Шарангский лесхоз	25,9	22,0	798	409	7,7	0,513
58	Россия, Республика Марий Эл, Сернурский лесхоз	22,5	23,7	721	390	7,4	0,541
105	Россия, Республика Татарстан, Арский лесхоз	23,8	27,1	522	361	6,8	0,692
В среднем:		24,3	24,2	624	360	6,8	0,577
В процентах относительно контрольного значения:		106,1	108,5	40,0	71,4	68,7	179,2
<i>b</i> — ель сибирская с признаками гибридности							
34	Россия, Пермский край, Шемейский лесхоз	24,3	24,0	661	381	7,2	0,576
35	Россия, Пермский край, Добрянский лесхоз	24,4	24,3	590	358	6,8	0,607
92	Россия, Республика Башкортостан, Инзерский лесхоз	23,5	21,8	529	251	4,7	0,474
В среднем:		24,1	23,4	593	330	6,2	0,556
В процентах относительно контрольного значения:		105,2	104,9	38,0	65,5	62,6	172,7
<i>a</i> — ель сибирская							
55	Россия, Томская обл., Томский лесхоз	21,8	24,6	175	114	2,2	0,651
56	Россия, Новосибирская обл., Новосибирский лесхоз	23,8	28,2	309	258	4,9	0,835
В среднем:		22,8	26,4	242	186	3,5	0,769
В процентах относительно контрольного значения:		99,6	118,4	15,5	36,9	35,4	238,8
<p><i>Примечание.</i> $H_{\text{ср}}$ — средняя высота насаждений, м; $D_{1,3}$ — средний диаметр деревьев в насаждении, см; N — густота стояния (количество) деревьев, шт./га; M — запас стволовой древесины, м³/га; Z_m — средний прирост по запасу на участке за год, м³; $V_{\text{ств}}$ — средний объем ствола дерева, м³.</p>							

Сенежского участкового лесничества Клинского филиала ГАУ МО «Мособллес», позволяющие оценить их потенциальную продуктивность по лесорастительным зонам в условиях Клинско-Дмитровской гряды (табл. 3).

Для лесоводственной оценки и удобства выделения перспективных экотипов в работе было принято разделение популяций ели по формам: *e* — европейская; *d* — европейская с признаками гибридности; *c* — гибридная; *b* — сибирская с признаками гибридности; *a* — сибирская [48].

Анализ полученных результатов показал, что географические культуры ели различного происхождения различаются по росту в высоту. Лучший рост по высоте показали экотипы

ели европейской (*e*): йонишкский (26,4 м), яунелгавский (25,7 м) и выгодский (25,6 м), ели европейской с признаками гибридности (*d*): струго-красненский (26,2 м) и ели гибридной (*c*): шарангский (25,9 м) и куменский (25,5 м) экотипы, растущие по Ib классу бонитета. Худшие результаты (в пределах 21,8...22,6 м) свойственны экотипам ели из Томской и Мурманской областей, а также Республики Марий Эл. Среди исследуемых форм самые лучшие результаты по росту в высоту показали экотипы ели европейской (*e*), их средняя высота достигала 24,9 м, что составляет 108,7 % относительно контрольного значения, а также экотип ели из Солнечногорского опытного лесхоза Московской области.

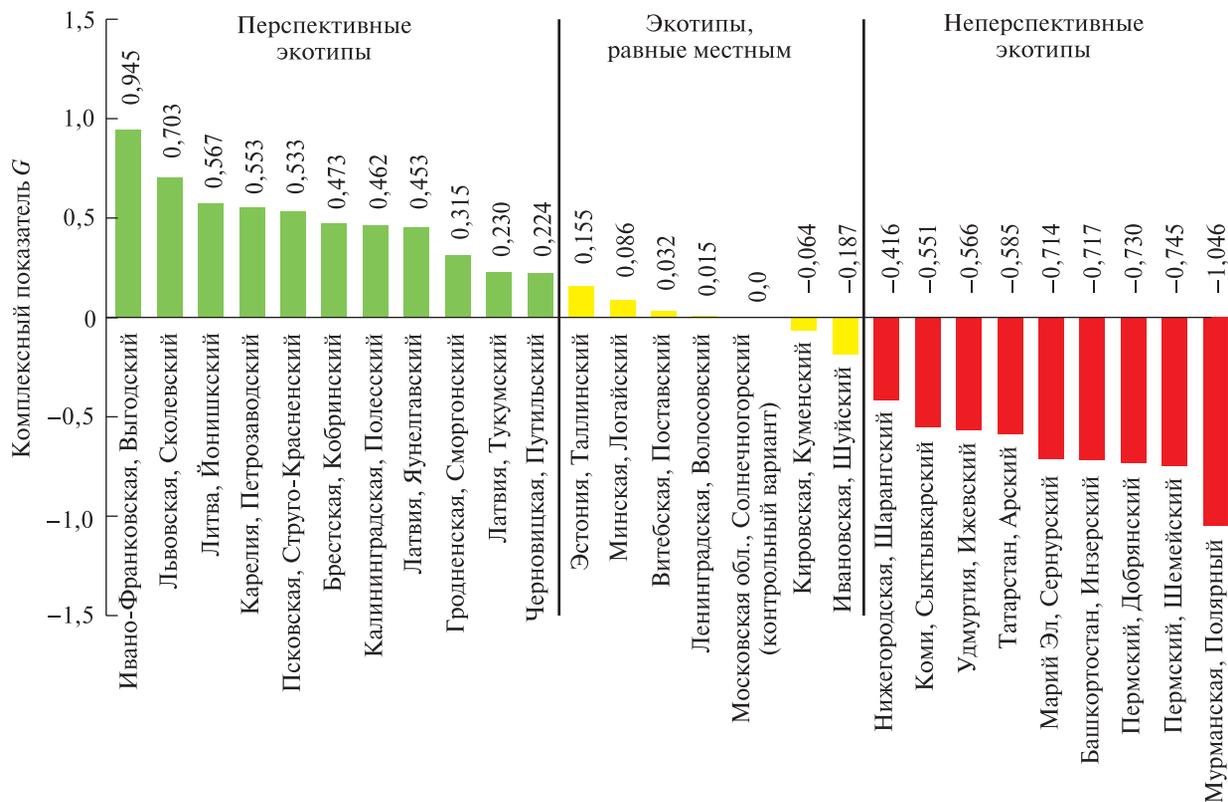


Рис. 2. Комплексная относительная оценка успешности провениенций ели в географических культурах Сенежского участкового лесничества

Fig. 2. Comprehensive relative assessment of spruce provenances vitality in the Senezh district forestry

Результаты измерения диаметра стволов показали, что экотипы ели европейской с признаками гибридности (*d*) несколько отстают от экотипов ели европейской (*e*), их средний диаметр стволов достигает 21,2 и 21,7 см соответственно, что составляет 95,1 и 97,3 % относительно контрольного значения. По показателю среднего диаметра ствола наилучший результат зафиксирован у выгодского (25,7 см) и карельского (24,7 см) экотипов. Высокое значение среднего диаметра (в пределах 24,6...28,2 см) отмечено у провениенций из Удмуртии, Татарстана, Кировской, Томской и Новосибирской областей, что вызвано сильной сбежистостью стволов при низкой сохранности деревьев 175...676 шт./га. Худшие показатели (в пределах 20,1...20,8 см) зафиксированы у экотипов ели из Ленинградской (20,1 см), Минской (20,2 см), Витебской (20,6 см) и Ивановской (20,8 см) областей, а также из Тукумского лесхоза Латвии (20,7 см).

Сохранность — это основной показатель состояния географических экотипов в лесных культурах. Хорошую сохранность показали экотипы ели европейской (*e*) — 21,6 % и ели европейской с признаками гибридности (*d*) —

26,7 %. Самой высокой сохранностью характеризуются экотипы местной (подмосковной) ели, белорусские провениенции, представленные образцами из Минской (29,6 %), Гродненской (26,2 %), Брестской (25,9 %), Витебской (25,6 %), а также Псковской (25,6 %), Ленинградской (25,4 %) областей и Львовской области Украины (24,5 %). По данным работы А.М. Пальцева [37] в I классе возраста, гродненский и брестский экотипы были также в числе лучших по сохранности наряду с экотипами местного происхождения. Наименьшая сохранность зафиксирована у экотипов гибридной (*c*) формы ели (5,7 %) и ели сибирской с признаками гибридности (*b*) (2,6 %). Относительно низкая сохранность отмечена для сибирской (*a*) формы ели, томского (3,9 %) и новосибирского (6,9 %) экотипов из Западной Сибири.

По запасу стволовой древесины лидируют экотипы ели европейской (*e*) и ели европейской с признаками гибридности (*d*), средний запас древесины у них достигает 467 и 484 м³/га соответственно. Высокой продуктивностью характеризуются экотипы из Гродненской (605 м³/га), Псковской (584 м³/га), Брестской (578 м³/га),

Львовской (552 м³/га) и Минской (545 м³/га) областей, превышающие по этому показателю контрольное значение (Московская обл., Солнечногорский опытный лесхоз — 504 м³/га, 100 %) на 108...120 %. Для лидирующих по запасу стволовой древесины провениенций зафиксирован также и высокий средний прирост по запасу 10,3...11,4 м³ за год. Наихудшие результаты по запасу стволовой древесины выявлены у экотипов из Мурманской (84 м³/га), Томской (114 м³/га), Новосибирской (258 м³/га) областей и Республики Башкортостан (251 м³/га), остальные провениенции занимают промежуточное положение.

К числу лучших провениенций по среднему объему ствола дерева следует отнести ель из Кировской области — 0,764 м³ и Ивано-Франковской области Украины — 0,702 м³, Пермского края (Добрянский лесхоз) — 0,607 м³, Республики Татарстан — 0,692 м³, Республики Карелия — 0,626 м³ и Удмуртской Республики — 0,608 м³. Минимальные средние объемы ствола дерева зафиксированы у провениенций ели из Московской — 0,322 м³, Ленинградской — 0,397 м³, Минской — 0,409 м³, Мурманской — 0,420 м³, Витебской — 0,438 м³ и Ивановской (0,439 м³) областей, а также из Латвии (Тукумский лесхоз) — 0,411 м³. Как отмечалось выше, высокие показатели среднего диаметра ствола, а также среднего объема ствола дерева у томского и новосибирского экотипов ели вызваны низкой сохранностью и сильной сбежистостью ствола, для этих экотипов в 53-летнем возрасте установлен распад насаждения, поэтому вышеназванные провениенции были исключены из дальнейших прогнозов.

Для получения полной картины о степени различия в росте и продуктивности инорайонных провениенций ели и местного (подмосковного) экотипа по модифицированной методике [44, 45] выполнена комплексная относительная оценка успешности провениенций ели в географических культурах Сенежского участкового лесничества (рис. 2).

Сравнительная характеристика с использованием комплексного показателя успешности провениенций ели в географических посадках Сенежского участкового лесничества показала, что наиболее эффективными оказались экотипы из Украинских Карпат (№№ 5, 99, 101), северо-запада Европейской части России (№№ 38, 39, 45, 47) а также Белоруссии (№ 13 и № 17) и Прибалтики (№№ 73, 75, 82), превышающие контрольные значения более чем на 20 % ($G = 0,224...0,945$) (см. рис. 2). Экотипы из Эстонии, Минской, Витебской, Ленинградской, Кировской и Ивановской областей показали результат, близкий контрольному образцу

(местной популяции) ($G = -0,187...0,155$), у остальных провениенций ели итоговая относительная оценка лесоводственного эффекта по комплексному показателю оказалась ниже ($G = -0,415...-1,046$). Согласно данным работы О.В. Прониной [24], рассчитанные индексы оценки потомств для 18- и 37-летнего возраста на объекте проведенных исследований подтверждают возрастную стабильность лидерства ивано-франковского, брестского, черновицкого, гродненского, латвийского, львовского, псковского, а также литовского экотипов ели.

Выводы

1. Благодаря преимуществам в росте и высокому запасу стволовой древесины использование семян от популяций ели европейской из Псковской области, Гродненской, Брестской и Минской областей Белоруссии и Львовской области Украины позволяет повысить продуктивность лесных культур ели в зоне хвойно-широколиственных лесов до 20 % по сравнению с местными экотипами.

2. Самой высокой сохранностью характеризуются экотипы ели европейской (*e*) (21,6 %) и ели европейской с признаками гибридности (*d*) форм (26,7 %). Лучшими по сохранности являются экотипы ели местного (подмосковного) и белорусского происхождения, причем по этому показателю наблюдается возрастная стабильность на всех этапах и фазах роста географических культур.

3. Оценка лесоводственного эффекта экотипов ели по комплексному показателю способствовала выявлению преимуществ использования в условиях Клинско-Дмитровской гряды семенного материала из Псковской, Калининградской областей и Республики Карелии России, Брестской и Гродненской областей Белоруссии, Ивано-Франковской, Львовской и Черновицкой областей Украины, центральных районов Литвы и восточных районов Латвии.

Список литературы

- [1] Пальцев А.М., Мерзленко М.Д. Роль географических культур в лесокультурном деле. М.: МЛТИ, 1990. 54 с.
- [2] Нестеров Н.С. Лесная опытная дача в Петровском-Разумовском под Москвой. М.; Л.: Государственное издательство колхозной и совхозной литературы, 1935. 560 с.
- [3] Пальцев А.М., Мерзленко М.Д., Мельник П.Г. Опыт географических культур ели в зоне смешанных лесов. Обзорная информация. М.: Изд-во ВНИИЦлесресурс, 1995. 35 с.

- [4] Engler A. Einfluss der Provenienz des Samens auf die Eigenschaften der forstlichen Holzgewächse // Mitteilungen der Schweizerischen Zentralanstalt für das forstliche Versuchswesen. Zurich, 1913, bd. X, N. 3, pp. 191–386.
- [5] Яблоков А.С. Лесосеменное хозяйство. М.: Лесная пром-сть, 1965. 465 с.
- [6] Лесные генетические ресурсы России: изучение, сохранение, использование, управление: в 2 кн. / под ред. М.М. Паленова. Кн. 1. Пушкино: ВНИИЛМ, 2024. 546 с.
- [7] Paule L. Výškovy a hrúbkový rast proveniencií smreka na provenienčnej pokusnej ploche Kováčova // Akta Fakultatis forestalis – Zvolen-Czechoslovakia, 1982, XXIV, pp. 53–68.
- [8] Шутяев А.М. Изменчивость хвойных видов в испытательных культурах Центрального Черноземья. М.: Изд-во НИИЛГиС, 2007. 296 с.
- [9] Вересин М.М., Иванов С.М. Экоотипы ели обыкновенной в опытных географических культурах // Лесохозяйственная информация, 1968. № 6. С. 5–6.
- [10] Правдин Л.Ф., Ростовцев С.А. Влияние происхождения семян ели обыкновенной на рост культур из них // Лесоведение, 1980. № 6. С. 3–10.
- [11] Вересин М.М. Лесное семеноводство. М.: Голесбумиздат, 1963. 158 с.
- [12] Пальцев А.М. Географические культуры ели в Солнечногорском лесокомбинате // Лесное хозяйство, 1978. № 5. С. 62–65.
- [13] Куракин Б.Н. Рост сеянцев ели разного географического происхождения // Лесное хозяйство, 1979. № 11. С. 36–39.
- [14] Ростовцев С.А. Опыт географических культур ели обыкновенной в Европейской части СССР // Экспресс инф. ЦБНТИлесхоза, 1980. № 8. 23 с.
- [15] Дурсин А.Д. Географические культуры ели в Ленинградской области: дис. ... канд. с.-х. наук 06.03.01. Л.: Изд-во ЛЛТА, 1980. 337 с.
- [16] Шутяев А.М. Географические культуры ели в Липецкой области // Лесная интродукция. Воронеж: Изд-во ЦНИИ лесной генетики и селекции, 1983. С. 35–41.
- [17] Камалтинов Г.Ш. Особенности роста географических культур ели в Татарской АССР // Рубки и восстановление леса в Среднем Поволжье. М.: ВНИИЛМ, 1984. С. 91–99.
- [18] Тишечкин А.Н. Особенности роста и развития ели сибирской и европейской в зависимости от происхождения семян и климатических факторов на Среднем Урале: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук 06.03.01. Свердловск, 1987. 22 с.
- [19] Мерзленко М.Д. Выявление экоотипов ели лучшего роста для условий Московской области // Научные труды МЛТИ, 1989. Вып. 210. С. 33–36.
- [20] Тарханов С.Н. Изменчивость ели в географических культурах Коми АССР: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.01. Москва, МЛТИ, 1990. 18 с.
- [21] Багаев С.С. Исследование географической изменчивости ели в Костромской обл. // Лесохозяйственная информация, 2014. № 4. С. 40–53.
- [22] Верас С.Н. Оценка состояния, роста и продуктивности 44-летних климатипов ели европейской в подзоне грабово-дубово-темнохвойных лесов // Труды БГТУ. Лесное хозяйство, 2014. № 1. С. 124–126.
- [23] Наквасина Е.Н., Юдина О.А., Прожерина Н.А., Камалова И.И., Минин Н.С. Географические культуры в ген-экологических исследованиях на Европейском Севере. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2008. 308 с.
- [24] Пронина О.Н. Качество древесины ели разного географического происхождения в условиях Центральной России: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.01. М.: МГУЛ, 2008. 125 с.
- [25] Ковалевич А.И., Верас С.Н., Фомин Е.А. Особенности роста и развития провениенций ели европейской в географических культурах // Труды БГТУ. Лесное хозяйство, 2013. № 1. С. 138–140.
- [26] Николаева М.А., Крестьянов А.А., Камагов Д.Е., Ямалеев О.А. Использование географической изменчивости в селекции хвойных пород в Республике Башкортостан // Хвойные бореальной зоны, 2015. Т. XXXIII. № 1–2. С. 30–37.
- [27] Ребко С.В., Поплавская Л.Ф., Тупик П.В. Рост и состояние климатических экоотипов ели европейской в Беларуси // Природные ресурсы, 2024. № 1. С. 37–44.
- [28] Краснобаева С.Ю. Лучшие климатипы ели обыкновенной в географических культурах в Республике Татарстан // Лесотехнический журнал, 2013. № 2 (10). С. 31–37.
- [29] Наквасина Е.Н., Минин Н.С. Изменчивость структуры годичных колец и плотности древесины в географических культурах ели Архангельской области // Вестник Поморского университета. Серия: Естественные и точные науки, 2007. № 2. С. 78–85.
- [30] Демина Н.А., Наквасина Е.Н. Географическая изменчивость качества древесины ели и ее значение в целевом лесовыращивании // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия: Естественные науки, 2013. № 2. С. 67–74.
- [31] Наквасина Е.Н., Юдина О.А., Покатило А.В. Ростовая и репродуктивная реакция *Picea abies* (L.) Karst. x *P. obovata* Ledeb. при имитации потепления климата // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия: Естественные науки, 2016. № 1. С. 89–96.
- [32] Николаева М.А., Варенцова Е.Ю. Фитопатологическое состояние и сохранность ели в географических культурах Любанского лесничества Ленинградской области // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии, 2019. Вып. 228. С. 216–233. DOI: 10.21266/2079-4304.2019.228.216-233
- [33] Бессчетнов В.П., Бессчетнова Н.Н., Щербаков А.Ю. Пигментный состав хвои ели европейской (*Picea abies*) в географических культурах // Хвойные бореальной зоны, 2021. Т. XXXIX. № 3. С. 161–166.
- [34] Potokina E.K., Kiseleva A.A., Nikolaeva M.A., Ivanov S.A., Ulianich P.S., Potokin A.F. Analysis of the polymorphism of organelle DNA to elucidate the phylogeography of norway spruce in the East European Plain // Russian J. of Genetics: Applied Research, 2015, v. 5, no. 4, pp. 430–439. DOI: 10.1134/S2079059715040176
- [35] Лесосеменное районирование основных лесобразующих пород в СССР. М.: Лесная пром-сть, 1982. 368 с.
- [36] Пальцев А.М. Сезонный рост географических культур ели обыкновенной в Московской области // Лесоведение, 1980. № 6. С. 11–18.
- [37] Пальцев А.М. Влияние географического происхождения семян ели на ее рост: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.01. Москва, МЛТИ, 1984. 185 с.

- [38] Пальцев А.М. Географические культуры ели в лесокультурном деле // Лесохозяйственная информация, 1995. № 2. С. 28–37.
- [39] ОСТ 56-69–83. Пробные площади лесоустроительные. Методы закладки. М.: Издательство стандартов, 1983. 59 с.
- [40] Анучин Н.П. Лесная таксация. М.: Лесная промышленность, 1971. 512 с.
- [41] Giertych M. Summary results of the IUFRO 1938 Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst) provenance experiment Height growth // *Silvae Genetica*, 1976, v. 25, no. 5–6, pp. 154–164.
- [42] Giertych M. Summary of results on Scotch pine (*Pinus sylvestris* L.) height growth in IUFRO provenance experiments // *Silvae Genetica*, 1979, v. 28, no. 4, pp. 136–152.
- [43] Paule L., Laffers A., Korpel S. Ergebnisse der Provenienzversuche mit der Tanne in der Slowakei // *VÜLH Zvolen (Forschungsbericht)*, 1985, pp. 137–159.
- [44] Мерзленко М.Д., Мельник П.Г., Глазунов Ю.Б., Коженкова А.А., Перевалова Е.А. Результаты изучения географических посадок сосны и лиственницы в Серебряноборском опытном лесничестве // *Лесной вестник / Forestry Bulletin*, 2020. Т. 24. № 6. С. 34–43. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-6-34-43
- [45] Дубенок Н.Н., Лебедев А.В., Гостев В.В. Регрессионные модели смешанных эффектов зависимости высоты от диаметра ствола в сосновых древостоях европейской части России // *Лесной вестник / Forestry Bulletin*, 2023. Т. 27. № 5. С. 37–47. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-5-37-47
- [46] Роне В.М. Генетический анализ лесных популяций. М.: Наука, 1980. 160 с.
- [47] Мерзленко М.Д., Бабич Н.А., Гаврилова О.И. Введение в экологию хвойных лесных культур. Архангельск: Изд-во САФУ, 2018. 379 с.
- [48] Попов П.П. Ель европейская и сибирская: структура, интерградация и дифференциация популяционных систем. Новосибирск: Наука, 2005. 231 с.

Сведения об авторе

Мельник Петр Григорьевич — канд. с.-х. наук, доцент, ФГАОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (Мытищинский филиал), melnik_petr@bk.ru

Поступила в редакцию 20.07.2025.

Одобрено после рецензирования 25.08.2025.

Принята к публикации 11.09.2025.

GROWTH, PRODUCTIVITY AND PRESERVATION OF SPRUCE ECOTYPES IN KLINSK-DMITROV LOW RIDGE

P.G. Mel'nik

BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institut'skaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

melnik_petr@bk.ru

The results of a study of spruce ecotypes in the Senezhsky district of the Klin forestry branch of the Moscow State Autonomous Institution in the Moscow Region, located within the Klinsko-Dmitrov low ridge of the Smolensk-Moscow Upland, are presented. The presented range of tested provenance is quite wide and in the meridian direction covers the range of the genus *Picea* from the Kaliningrad region (Russia) and the Baltic States (Lithuania, Latvia, Estonia) to the Novosibirsk and Tomsk regions (Western Siberia, Russia). The trunks height range of the Yonishka (26,4 m), Strugo-Krasnensky (26,2 m), Sharangsky (25,9 m), Yaunelgavsky (25,7 m), Vygodsky (25,6 m) and Kumensky (25,5 m) ecotypes growing according to the Ib class of bonity has been established. Ecotypes from the Grodno, Brest and Minsk regions of Belarus, the Pskov region of Russia and the Lviv region of Ukraine have a high stock of stem wood. A high average increase in stock was recorded for the leading provenances in terms of stem wood productivity. An assessment of the forestry effect is given based on a complex indicator of the expediency of introducing specific spruce varieties. Vital ecotypes of spruce have been identified both in Russia and abroad.

Keywords: spruce, *Picea*, provenances, ecotype, geographical forest plantations, silvicultural effect, Klinsko-Dmitrov low ridge

Suggested citation: Mel'nik P.G. *Rost, produktivnost' i sokhrannost' ekotipov eli v usloviyakh Klinsko-Dmitrovskoy gryady* [Growth, productivity and preservation of spruce ecotypes in Klinsko-Dmitrov low ridge]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2025, vol. 29, no. 5, pp. 98–109. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-5-98-109

References

- [1] Pal'tsev A.M., Merzlenko M.D. *Rol' geograficheskikh kul'tur v lesokul'turnom dele* [The role of provenances in forest breeding practice]. Moscow: MLTI, 1990, 54 p.

- [2] Nesterov N.S. *Lesnaya opyt'naya dacha v Petrovskom-Razumovskom pod Moskvoy* [Forest experimental cottage in Petrovsky-Razumovsky near Moscow]. Moscow–Leningrad: Gosudarstvennoye izdatel'stvo kolkhoznoy i sovkhonoy literatury [State Publishing House of Collective Farm and State Farm Literature], 1935, 560 p.
- [3] Pal'tsev A.M., Merzlenko M.D., Mel'nik P.G. *Opyt geograficheskikh kul'tur eli v zone smeshannykh lesov. Obzornaya informatsiya* [The experience of geographical cultures of spruce in the zone of mixed forests]. Moscow: VNIITslesresurs, 1995, 35 p.
- [4] Engler A. Einfluss der Provenienz des Samens auf die Eigenschaften der forstlichen Holzgewächse. Mitteilungen der Schweizerischen Zentralanstalt für das forstliche Versuchswesen. Zurich, 1913, bd. X, h. 3, pp. 191–386.
- [5] Yablokov A.S. *Lesosemennoe khozyaystvo* [Forest Seed Management]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forest industry], 1965, 466 p.
- [6] *Lesnye geneticheskie resursy Rossii: izuchenie, sokhranenie, ispol'zovanie, upravlenie* [Forest genetic resources of Russia: study, conservation, use, management]. Ed. M.M. Palenova. V. 1. Pushkino: VNIILM, 2024, 546 p.
- [7] Paule L. Výškovy a hrúbkový rast proveniencií smreka na provenienčnej pokysnej ploche Kováčova. Akta Fakultatis forestalis – Zvolen-Czechoslovakia, 1982, t. XXIV, pp. 53–68.
- [8] Shutyaev A.M. *Izmenchivost' khvoynykh vidov v ispytatel'nykh kul'turakh Tsentral'nogo Chernozem'ya* [Variability of conifer species in test cultures of the Central Chernozem region]. Moscow: NIILGiS, 2007, 296 p.
- [9] Veresin M.M., Ivanov S.M. *Ekotipy eli obyknovennoy v opytnykh geograficheskikh kul'turakh* [Ecotypes of common spruce in experimental geographical cultures]. Lesokhozyaystvennaya informatsiya [Forestry Information], 1968, no. 6, pp. 5–6.
- [10] Pravdin L.F., Rostovtsev S.A. *Vliyanie proiskhozhdeniya semyan eli obyknovennoy na rost kul'tur iz nikh* [The influence of the origin of spruce seeds on the growth of crops from them]. Lesovedenie [Forest science], 1980, no. 6, pp. 3–10.
- [11] Veresin M.M. *Lesnoe semenovodstvo* [Forest Seed Production]. Moscow: Goslesbumizdat, 1963, 158 p.
- [12] Pal'tsev A.M. *Geograficheskie kul'tury eli v Solnechnogorskom lesokombinate* [Geographical spruce crops in Solnechnogorsk timber processing plant]. Lesnoe khozyaystvo [Forestry], 1978, no. 5, pp. 62–65.
- [13] Kurakin B.N. *Rost seyantsy eli raznogo geograficheskogo proiskhozhdeniya* [The growth of spruce seedlings of different geographical origin]. Lesnoe khozyaystvo [Forestry], 1979, no. 11, pp. 36–39.
- [14] Rostovtsev S.A. *Opyt geograficheskikh kul'tur eli obyknovennoy v Evropeyskoy chasti SSSR* [The experience of geographical cultures of the common spruce in the European part of the USSR]. Ekspres inf. TsBNTIleskhoza, 1980, no. 8, 23 p.
- [15] Dursin A.D. *Geograficheskie kul'tury eli v Leningradskoy oblasti* [Spruce provenance trails in the Leningrad region]. Dis. Cand. Sci. (Agric.) 06.03.01. Leningrad, LTA, 1980, 337 p.
- [16] Shutyaev A.M. *Geograficheskie kul'tury eli v Lipetsкой oblasti* [Geographical spruce crops in the Lipetsk region]. Lesnaya introduktsiya. Voronezh: TsNII lesnoy genetiki i selektsii, 1983, pp. 35–41.
- [17] Kamaltinov G.Sh. *Osobennosti rosta geograficheskikh kul'tur eli v Tatarskoy ASSR* [Features of the growth of geographical spruce crops in the Tatar ASSR]. Rubki i vosstanovlenie lesa v Srednem Povolzh'e. Moscow: VNIILM, 1984, pp. 91–99.
- [18] Tishechkin A.N. *Osobennosti rosta i razvitiya eli sibirskoy i evropeyskoy v zavisimosti ot proiskhozhdeniya semyan i klimaticheskikh faktorov na Srednem Urale* [Features of the growth and development of Siberian and European spruce, depending on the origin of seeds and climatic factors in the Middle Urals]. Avtoref. Dis. ... Cand. Sci. (Agric.) 06.03.01. Sverdlovsk, 1987, 22 p.
- [19] Merzlenko M.D. *Vyyavlenie ekotipov eli luchshego rosta dlya usloviy Moskovskoy oblasti* [Identification of the best growth spruce ecotypes for the conditions of the Moscow region]. Nauch. tr. MLTI [Transactions of MLTI], 1989, iss. 210, pp. 33–36.
- [20] Tarkhanov S.N. *Izmenchivost' eli v geograficheskikh kul'turakh Komi ASSR* [The variability of spruce in the geographical cultures of the Komi ASSR]. Avtoref. Dis. ... Cand. Sci. (Agric.) 06.03.01. Moscow, MLTI, 1990, 18 p.
- [21] Bagaev S.S. *Issledovanie geograficheskoy izmenchivosti eli v Kostromskoy obl.* [A study of the geographical variability of spruce in the Kostroma region]. Lesokhozyaystvennaya informatsiya [Forestry Information], 2014, no. 4, pp. 40–53.
- [22] Veras S.N. *Otsenka sostoyaniya, rosta i produktivnosti 44-letnikh klimatipov eli evropeyskoy v podzone grabovo-dubovo-temnokhvoynykh lesov* [Assessment of the condition, growth and productivity of 44-year-old European spruce climatypes in the hornbeam-oak-dark coniferous forests subzone]. Trudy BGTU. Lesnoe khozyaystvo [Ecology, forestry and hunting. Proceedings of BGTU. Forestry], 2014, no. 1, pp. 124–126.
- [23] Nakvasina E.N., Yudina O.A., Prozherina N.A., Kamalova I.I., Minin N.S. *Geograficheskie kul'tury v genekologicheskikh issledovaniyakh na Evropeyskom Severe* [Geographical cultures in genecological research in the European North]. Arkhangelsk: Arhang. State Tech. Univ., 2008, 308 p.
- [24] Pronina O.N. *Kachestvo drevesiny eli raznogo geograficheskogo proiskhozhdeniya v usloviyakh Tsentral'noy Rossii* [Quality of spruce wood of different geographical origin in the conditions of Central Russia]. Dis. Cand. Sci. (Agric.) 06.03.01. Moscow, MGUL, 2008, 125 p.
- [25] Kovalevich A.I., Veras S.N., Fomin E.A. *Osobennosti rosta i razvitiya provenientsiy eli evropeyskoy v geograficheskikh kul'turakh* [Features of the growth and development of Norway spruce provenance in provenance trials]. Trudy BGTU. Lesnoe khozyaystvo [Ecology, forestry and hunting. Proceedings of BGTU. Forestry], 2013, no. 1, pp. 138–140.
- [26] Nikolaeva M.A., Krest'yanov A.A., Kamatov D.E., Yamaleev O.A. *Iskol'zovanie geograficheskoy izmenchivosti v selektsii khvoynykh porod v Respublike Bashkortostan* [The use of geographical variability in coniferous breeding in the Republic of Bashkortostan]. Khvoynye boreal'noy zony [Conifers of the boreal area], 2015, v. XXXIII, no. 1–2, pp. 30–37.
- [27] Rebko S.V., Poplavskaya L.F., Tupik P.V. *Rost i sostoyanie klimaticheskikh ekotipov eli evropeyskoy v Belarusi* [The growth and condition of the climatic ecotypes of the European spruce in Belarus]. Prirodnye resursy [Natural resources], 2024, no. 1, pp. 37–44.
- [28] Krasnobaeva S.Yu. *Luchshie klimatipy eli obyknovennoy v geograficheskikh kul'turakh v Respublike Tatarstan* [The best climatypes of Norway spruce in provenance trails in the Republic of Tatarstan]. Lesotekhnicheskii Zhurnal [Forest engineering magazine], 2013, no. 2 (10), pp. 31–37.

- [29] Nakvasina E.N., Minin N.S. *Izmenchivost' struktury godichnykh kolets i plotnosti drevesiny v geograficheskikh kul'turakh eli Arkhangel'skoy oblasti* [Variability of the structure of annual rings and density of wood in geographical cultures of spruce of the Arkhangelsk region]. Vestnik Pomorskogo universiteta. Seriya: Estestvennye i tochnye nauki [Bulletin of the Primorsky University. Series: Natural and Exact Sciences], 2007, no. 2, pp. 78–85.
- [30] Demina N.A., Nakvasina E.N. *Geograficheskaya izmenchivost' kachestva drevesiny eli ee znachenie v tselevom lesovy rashchivanii* [Importance of Geographical Variability of Spruce Quality for Target Cultivation of Forests]. Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) federal'nogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki [Vestnik of Northern (Arctic) Federal University. Series «Natural Sciences»], 2013, no. 2, pp. 67–74.
- [31] Nakvasina E.N., Yudina O.A., Pokatilo A.V. *Rostovaya i reproduktivnaya reaktsiya Picea abies (L.) Karst. x P. obovata Ledeb. pri imitatsii potepneniya klimata* [Growth and Reproductive Response of *Picea abies* (L.) Karst. × *P. obovata* (Ledeb.) in Climate Change Simulation]. Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) federal'nogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki [Vestnik of Northern (Arctic) Federal University. Series «Natural Sciences»], 2016, no. 1, pp. 89–96.
- [32] Nikolaeva M.A., Varentsova E.Yu. *Fitopatologicheskoe sostoyanie i sokhrannost' eli v geograficheskikh kul'turakh Lyubanskogo lesnichestva Leningradskoy oblasti* [Phytopathological status and preservation of spruce in provenance trials of the Lyubansky Forest District of Leningrad Region]. Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii [News of the St. Petersburg Forestry Academy], 2019, iss. 228, pp. 216–233. DOI: 10.21266/2079-4304.2019.228.216-233
- [33] Besschetnov V.P., Besschetnova N.N., Shcherbakov A.Yu. *Pigmentnyy sostav khvoi eli evropeyskoy (Picea abies) v geograficheskikh kul'turakh* [The pigment composition of the needles of the European spruce (*Picea abies*) in geographical cultures]. Khvoynye boreal'noy zony [Conifers of the boreal area], 2021, v. XXXIX, no. 3, pp. 161–166.
- [34] Potokina E.K., Kiseleva A.A., Nikolaeva M.A., Ivanov S.A., Ulianich P.S., Potokin A.F. *Analysis of the polymorphism of organelle DNA to elucidate the phylogeography of norway spruce in the East European Plain*. Russian J. of Genetics: Applied Research, 2015, v. 5, no 4, pp. 430–439. DOI: 10.1134/S2079059715040176
- [35] *Lesosemennoe rayonirovanie osnovnykh lesoobrazuyuschikh porod v SSSR* [Forest seed zoning of the main forestforming species in the USSR]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forest industry], 1982, 368 p.
- [36] Pal'tsev A.M. *Sezonnyy rost geograficheskikh kul'tur eli obyknovennoy v Moskovskoy oblasti* [Seasonal Growth of Spruce Provenance Trial Plantations in the Moscow Region]. Lesovedenie [Forestry], 1980, no. 6, pp. 11–18.
- [37] Pal'tsev A.M. *Vliyanie geograficheskogo proiskhozhdeniya semyan eli na ee rost* [The influence of the geographical origin of spruce seeds on its growth]. Dis. Cand. Sci. (Agric.). Moscow, MLTI, 1984, 185 p.
- [38] Pal'tsev A.M. *Geograficheskie kul'tury eli v lesokul'turnom dele* [Geographical spruce crops in forestry]. Lesokhozyaystvennaya informatsiya [Forestry Information], 1995, no. 2, pp. 28–37.
- [39] OST 56-69-83. *Probnye ploshchadi lesoustroitel'nye. Metody zakladki* [Industrial Standard 56-69-83. Sampling Areas of Forest Inventory. The Plantation Establishment Principles]. Moscow: Publishing house of standards, 1983, 59 p.
- [40] Anuchin N.P. *Lesnaya taksatsiya* [Forest taxation]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forest industry], 1971, 512 p.
- [41] Giertych M. *Summary results of the IUFRO 1938 Norway spruce (Picea abies L. Karst) provenance experiment* Height growth. Silvae Genetica, 1976, v. 25, no. 5–6, pp. 154–164.
- [42] Giertych M. *Summary of results on Scotch pine (Pinus sylvestris L.) height growth in IUFRO provenance experiments*. Silvae Genetica, 1979, v. 28, no. 4, pp. 136–152.
- [43] Paule L., Laffers A., Korpel S. *Ergebnisse der Provenienzversuche mit der Tanne in der Slowakei*. VÚLH Zvolen (Forschungsbericht), 1985, pp. 137–159.
- [44] Merzlenko M.D., Melnik P.G., Glazunov Yu.B., Kozhenkova A.A., Perevalova E.A. *Rezultaty izucheniya geograficheskikh posadok sosny i listvennitsy v Serebryanoborskom opytном lesnichestve* [Study results of pine and larch provenance trial in Serebryanoborsky experimental forest district]. Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin, 2020, vol. 24, no. 6, pp. 34–43. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-6-34-43
- [45] Dubenok N.N., Lebedev A.V., Gostev V.V. *Regressionnyye modeli smeshannykh effektorov zavisimosti vysoty ot diametra stvola v sosnovykh drevostoyakh evropeyskoy chasti Rossii* [Mixed-effect regression models of height versus trunk diameter dependence in pine stands in european part of Russia]. Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin, 2023, vol. 27, no. 5, pp. 37–47. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-5-37-47
- [46] Rone V.M. *Geneticheskiy analiz lesnykh populyatsiy* [Genetic analysis of forest populations]. Moscow: Nauka, 1980, 160 p.
- [47] Merzlenko M.D., Babich N.A., Gavrilova O.I. *Vvedenie v ekologiyu khvoynykh lesnykh kul'tur* [Introduction to the Ecology of Coniferous Forest Crops]. Arkhangelsk: NArFU, 2018, 379 p.
- [48] Popov P.P. *El' evropeyskaya i sibirskaya: struktura, integratsiya i differentsiatsiya populyatsionnykh sistem* [European and Siberian spruce: structure, integration and differentiation of population systems]. Novosibirsk: Nauka, 2005, 231 p.

Author's information

Mel'nik Petr Grigor'evich — Cand. Sci. (Agricultural), Associate Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), melnik_petr@bk.ru

Received 20.07.2025.

Approved after review 25.08.2025.

Accepted for publication 11.09.2025.

ЛИСТВЕННИЦА (*LARIX* MILL.) В ГОРОДСКИХ НАСАЖДЕНИЯХ АРХАНГЕЛЬСКА

Н.Р. Сунгурова[✉], С.Р. Страздаускене, Н.А. Бабич

ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (САФУ), Россия, 163002, г. Архангельск, ул. Набережная Северной Двины, д. 17

n.sungurova@narfu.ru

Представлен анализ использования лиственницы в городских посадках Архангельска, а также рассматриваются качественные показатели семян представителей рода *Larix* Mill. Исследованиями установлено, что максимально широко в городских посадках используется аборигенный вид — лиственница сибирская. Определено, что она встречается в парках и скверах, на улицах и в селитебной зоне, на территориях образовательных и лечебных учреждений, на площадях. Зафиксировано, что данный вид хорошо откликается на условия городской среды, обладает хорошо развитой, правильно сформированной кроной с яркой сочной хвоей. Исследованиями охвачены семена лиственницы сибирской, японской, Сукачева, даурской. Установлено, что низким качеством обладают семена лиственницы японской (24,8%), промежуточные показатели абсолютной всхожести у лиственницы Сукачева (35,1 %) и сибирской (38,5 %). Отмечены высокие значения данного показателя у семян лиственницы даурской (68,8 %).

Ключевые слова: лиственница, озеленение, зеленые насаждения, семена, всхожесть, энергия прорастания

Ссылка для цитирования: Сунгурова Н.Р., Страздаускене С.Р., Бабич Н.А. Лиственница (*Larix* Mill.) в городских насаждениях Архангельска // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2025. Т. 29. № 5. С. 110–119. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-5-110-119

Архангельская область расположена на севере европейской части России в атлантико-арктической области умеренного пояса. Лесистость составляет 77,7 % (без островов Белого моря Северного Ледовитого океана и Новой Земли). Общая площадь лесного фонда — 29,2 млн га, лесопокрытая площадь — 22,3 млн га. Основные лесообразующие породы — ель европейская (*Picea abies* Link.) и сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), занимают соответственно 49,4 и 26,9 % общей площади лесного фонда, на лиственницу (*Larix* Mill.) приходится 0,2 % [1–3].

Хвойные деревья имеют важное значение для городских насаждений Архангельска. Их используют в садово-парковом строительстве в целях поддержания архитектурно-художественной и санитарно-экологической функций всех зеленых насаждений. Кроме того, данные породы отличаются почвозащитной и водоохранной способностью, смягчают климат, украшают ландшафт, насыщая воздух кислородом и очищая его фитонцидами, поскольку фитонциды убивают вредоносные микробы. В частности, 1 га зеленых лесонасаждений выделяет до 30 кг фитонцидов в год, достаточных для стерили-

зации воздуха небольшого города, например фитонциды лиственницы европейской (*Larix europaea* Lam. et DC) могут подавлять вирус гриппа [4–7].

Лиственница (*Larix* Mill.) — универсальная и ценная декоративная порода, широко применяемая в озеленении благодаря своим уникальным свойствам, эстетической привлекательности и устойчивости к внешним неблагоприятным воздействиям окружающей среды. Лиственница в зеленых пространствах улучшает внешний облик территории, способствует созданию комфортной и гармоничной атмосферы в садах и парках. Высокие и раскидистые деревья этой хвойной породы формируют тень, служат фоном для клумб и других растительных композиций. Создание аллей из лиственниц (*Larix* Mill.) позволяет формировать тень и уютные прогулочные зоны. Их стройные и высокие стволы придают парку элегантность [8, 9].

Лиственница (*Larix* Mill.) активно участвует в процессе фотосинтеза, поглощая диоксид углерода и выделяя кислород, в том числе поглощает такие загрязнители атмосферного воздуха, как оксид серы (IV) и оксиды азота. Представители рода Лиственница (*Larix* Mill.) благодаря плотным кронам и игловидным листьям способны улавливать из воздуха пыль, отдельные частицы загрязняющих веществ и

даже некоторые токсичные элементы. Это имеет важнейшее значение для условий городов, отличающихся высоким уровнем загрязнения.

Деревья служат естественным фильтром, очищающим атмосферный воздух и улучшающим его качество. Велико значение зеленых насаждений в полезном выделении в воздушную среду летучих веществ — фитонцидов, которые убивают вредоносные микробы [2, 5].

Густая листва и глубокая тень лиственницы, способствуют снижению температуры воздуха в жаркие дни, обеспечивая охлаждение за счет испарения влаги с поверхности листвы. Кроме того, насаждения лиственницы служат естественным ветровым барьером, защищая территории от резких порывов ветра, шумозащитным экраном, уменьшая уровень шума городского транспорта, поскольку их густая крона поглощает звуковые волны, что, в свою очередь, формирует более спокойную и гармоничную среду [10–13].

Таким образом, насаждения лиственницы не только эстетически привлекательны, но и имеют важнейшее значение для улучшения качества урбанизированной среды. Активное использование лиственницы совместно с другими породами в озеленении позволит создавать здоровые и эстетически привлекательные ландшафты.

Цель работы

Цель работы — анализ использования лиственницы в городских посадках Архангельска и определение качественных показателей семян представителей рода Лиственница (*Larix Mill.*).

Материалы и методы исследования

Обследование городских зеленых насаждений проводили маршрутным методом, в ходе которого измеряли диаметр стволов лиственницы на высоте 1,3 м от поверхности земли, высоту деревьев и размер проекции кроны в двух взаимно перпендикулярных направлениях, оценивали жизненное состояние и декоративность.

В ходе работ использовали общепринятые методики в целях сопоставимости данных и выявления закономерностей изменения жизненного состояния. Каждой исследованной особи присваивали по одной из трех категорий состояния: хорошее, удовлетворительное или плохое. Это позволяло быстро оценить общее состояние лесного массива и выявить деревья, нуждающиеся в дополнительном уходе.

Категория «хорошее состояние» соответствует оптимальному состоянию дерева, которое

имеет здоровую крону, без видимых повреждений и патологий. К этой категории относятся лиственницы, которые активно растут, создают густую листву и не подвержены воздействиям вредителей или болезней.

«Удовлетворительное состояние» указывает на наличие некоторых незначительных повреждений или патологии, в частности легких проявлений заболевания, небольшие механические повреждения коры или листвы, однако существенно не влияющих на общую жизнеспособность дерева, но требующих постоянного наблюдения, поскольку они могут свидетельствовать о начале негативных процессов

Категория «плохое состояние» указывает на критическое положение дерева, что выражается в значительном увядании, сильных повреждениях, наличии поражения вредителями или грибами, угрожающими жизнеспособности растения. Такие деревья требуют срочной оценки и определения возможности их сохранения либо удаления.

Фиксация патологии, обнаружение повреждений и детальные записи материалов наблюдений за состоянием деревьев позволяют глубже понять экологию лесов и принять решение о проведении необходимых мероприятий по восстановлению и охране лесных ресурсов. Такой подход обеспечит устойчивость экосистемы и поможет предотвратить распространение заболеваний и вредителей, что, в свою очередь, позитивно скажется на общем состоянии лесов.

При оценке декоративности растений для ландшафтного дизайна применяется четырехбалльная система, которая позволяет классифицировать каждое растение в зависимости от его эстетических качеств.

Балл «1» присваивается растениям, имеющим минимальные декоративные качества. Такие растения неаккуратного, непривлекательного вида или не вписываются в формат садового оформления. Внешний вид такого растения может быть испорчен болезнями, вредителями или не соответствует общему стилю ландшафта.

Балл «2» присваивается экземплярам, которые демонстрируют некоторые положительные качества, но имеют видимые нарушения декоративности. Возможно, у таких растений есть интересные элементы: например, текстура листьев или их форма, но они не впечатляют своей гармонией или яркостью. Их можно использовать как элементы фона, однако следует быть осторожными с композицией, чтобы не перегрузить общую картину.

Балл «3» означает, что растения обладают хорошими декоративными свойствами, имеют привлекательные цветы, интересную листву

или гармоничное строение, что делает их достойными кандидатами для использования в ландшафтном дизайне. Они служат центральным элементом ландшафта или в сочетании с другими растениями входят в композицию, создавая эстетическую привлекательность.

Балл «4» присваивается лишь самым лучшим образцам, которые выделяются своей красотой и универсальностью. Эти растения отличаются яркими и выразительными цветами, гармоничной формой и текстурой. Они способны стать акцентом в ландшафтном проектировании, привлекая внимание и создавая эстетическую ценность. Подходящие для использования в любых стилях оформления эти растения могут применяться как в альпинариях, так и в парковых зонах.

Такой подход к оценке декоративности позволяет не только систематизировать выбор растений, но и обеспечить рациональное использование флоры в ландшафтном дизайне. Определение уровня декоративности помогает дизайнерам и садоводам принимать взвешенные решения о сочетании растений и создании гармоничных и привлекательных ландшафтов [14].

Для установления качества семян лиственницы определяли всхожесть и энергию их прорастания. Эти параметры имеют важное значение для оценки жизнеспособности семян и их возможности успешно развиваться в условиях открытого или закрытого грунта.

Под всхожестью понимается способность семян образовывать здоровые проростки в определенный срок. Выражается данный показатель как процентное соотношение нормально проросших семян к загнившим и пустым. Высокий уровень всхожести свидетельствует о том, что семена находятся в хорошем состоянии и способны производить здоровые всходы.

Вместе со всхожестью фиксируют показатель энергии прорастания семян, под которым понимают способность семян быстро и активно прорасти к определенному сроку. Этот процесс включает в себя не только физическое набухание семян, но и активацию метаболических процессов, необходимых для прорастания. Наблюдения за тем, как быстро семена начинают прорасти, дают представление о качестве семян и их готовности к прорастанию.

Анализ энергии прорастания и всхожести семян лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ldb.) является необходимым этапом перед началом посадки, что позволяет гарантировать успешность будущих посадок и здоровье деревьев в процессе их роста.

В лабораторных условиях, согласно ГОСТ 13056.6–97 «Семена деревьев и кустар-

ников. Методы определения всхожести» [15], устанавливается техническая и абсолютная всхожести.

Всхожесть семян определяет их способность прорасти и развиваться в полноценные растения, что, в свою очередь, влияет на урожайность и качество посевного материала. Сертификация всхожести подразделяется на несколько категорий, среди которых ключевые — техническая и абсолютная всхожесть [16, 17].

Техническая всхожесть семян — это показатель, используемый для оценки общего состояния семенного материала. Он определяется количеством семян, ожидаемых как всходы в условиях, близких к естественным. Для оценки технической всхожести семена помещаются в определенные условия (влажность и температуру среды, уровень освещения и качество субстрата), которые способствуют прорастанию. Техническая всхожесть учитывает различные факторы, включая механические повреждения, болезни семян и влияние внешней среды на их способность прорасти. Этот показатель может изменяться в зависимости от хранения, обработки семян и некоторых других условий.

Абсолютная всхожесть, в свою очередь, обозначает максимальное количество семян, которые могут прорасти, если они находятся в идеальных условиях. Для определения этого показателя и его вычисления требуется отбор проб из партий семян, которые будут находиться в контрольной и оптимальной средах для прорастания. Здесь важно учитывать, что абсолютная всхожесть — более теоретическая величина, поскольку в реальных условиях достижения идеальных параметров, как правило, невозможно.

Для проведения испытаний обычно используется метод пробного посева, при котором семена размещаются в питательном субстрате, поддерживаются необходимые температура и влажность, и в течение наблюдаемого времени фиксируются результаты проращивания. Сравнение полученных данных позволяет изучить не только саму всхожесть, но и другие качественные характеристики семян — их жизнеспособность, здоровье и возможность роста.

Указанные два показателя вместе могут дать полное представление о потенциальной эффективности семенного материала и помогают выбрать наилучшие образцы для посевов, что, в свою очередь, положительно сказывается на конечных результатах производства посевного материала.

Материалы проведенных маршрутных и лабораторных исследований обрабатывались с помощью современных методов математической статистики.

Результаты и обсуждение

Основной и важнейшей частью садово-паркового строительства является растительность, именно она влияет на психоэмоциональное состояние людей, на микроклимат, определяет объемно-пространственную структуру и влияет на биоразнообразие и экологическую ситуацию [18–20].

Ценным хвойным древесным растением для городского ландшафта Архангельска является лиственница. В культуру Архангельска прочно вошли лиственница сибирская (*Larix sibirica* Ldb.), являющаяся представителем аборигенной флоры, а также интродуцированные лиственница японская (*Larix leptolepis* Goult.) и лиственница Сукачева (*Larix sukaczewii* Dyl.) [21–22].

Среди всех хвойных пород в урбанофлоре Архангельска лиственница (*Larix Mill.*) занимает второе место после ели колючей (*Picea pungens*), а именно 32 %. В городских насаждениях эта порода характеризуется быстрым ростом, ажурностью крон, устойчивостью, хорошими почвозащитными свойствами, высокой декоративностью, ежегодным опадом хвои и мощной корневой системой [23]. При рассмотрении лиственницы в зеленых посадках на территории Архангельской агломерации (рис. 1) нами установлено, что наиболее часто (61,6 %) лиственница используется в рядовых или аллейных посадках бульваров и уличных насаждений (рис. 2).

На объектах ландшафтной архитектуры общего пользования лиственница менее популярна и занимает второе место, т. е. 19,1 %, хоть и в незначительном количестве, но произрастает практически во всех парках (табл. 1) и некоторых скверах города. Так, при исследовании флористического состава Петровского парка факт зафиксированной встречаемости лиственницы сибирской на уровне 3,6 % в общем количестве деревьев и кустарников является достаточно важным и занимает заметное место среди других пород.

В других парках города количество лиственницы сибирской варьирует в пределах 0,7...1,7 % общего числа древесных растений, произрастающих на данном объекте ландшафтной архитектуры.

Солитерные посадки изучаемой породы встречаются на территории некоторых детских садов и школ, других образовательных и административных учреждений, в селитебной зоне. Одиночные посадки растений, как правило, используются для создания акцентов в ландшафтном дизайне. Они выделяются на фоне окружающей растительности и придают

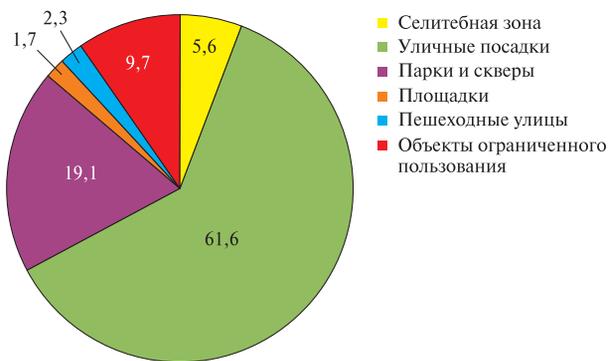


Рис. 1. Представленность (%) лиственницы в различных типах городских насаждений

Fig. 1. Representation of *Larix Mill.* (%) in various types of urban plantations



Рис. 2. Аллейная посадка на улице Суворова

Fig. 2. Alley plantation in Suvorov Street

Т а б л и ц а 1

Встречаемость лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ldb.) в парках города Архангельска

The occurrence of *Larix sibirica* in the main parks of Arkhangelsk

Парк	Площадь, га	Количество деревьев, шт.	Доля деревьев в общем количестве растений, %
Грачев парк	0,8	7	1,7
Ломоносовский парк	5,0	8	0,7
Майский парк	6,0	25	1,3
Петровский парк	12,0	33	3,6

территории более выразительный и ухоженный вид. В детских садах и школах такие посадки не только украшают территорию, но и выполняют образовательную функцию, помогая детям знакомиться с природой.

Кроме того, на территории образовательных и административных учреждений солитерные посадки служат для улучшения микроклимата, создания тенистых зон и повышения эстетического восприятия пространства. В селитебной зоне они также выполняют роль барьера от шума и пыли, а также привлекают внимание к определенным объектам.

Лиственница сибирская (*Larix sibirica* Ldb.), относящаяся к деревьям первой величины (высотой 20 м и выше), занимает важное место среди представителей класса Хвойные (*Pinopsida*), встречающихся в урбанофлоре Архангельска. С ее средним диаметром ствола, равным 24,9 см, эта порода выглядит весьма внушительно и может значительно воздействовать на городской пейзаж. Примечательно, что благодаря своему диаметру ствола лиственница сибирская относится к одним из самых мощных и впечатляющих хвойных среди городских насаждений. Максимальные данные величины проекции кроны в двух взаимно перпендикулярных направлениях составляют 4,4×3,7 м. Широкая и раскидистая крона обеспечивает не только эстетическую привлекательность, но и функциональные преимущества, такие как притенение в летний период, что может существенно улучшить микроклимат в городских условиях. Лиственницы обладают высокоразвитыми корневыми системами, что обеспечивает стабильность деревьев и способствует улучшению состояния почвы, предотвращая эрозию. Такие высокие показатели можно интерпретировать как наличие благоприятных условий для ее роста в экосистеме зеленых насаждений Архангельска.

Анализ жизненного состояния и декоративности лиственницы сибирской в зеленых посадках города важен для поддержания устойчивости городской экосистемы и повышения визуальной привлекательности общественных пространств. В ходе комплексного подхода можно учитывать множество факторов, влияющих на здоровье деревьев и их эстетическую ценность.

Следует обратить внимание непосредственно на ее биологические характеристики. Это дерево, несмотря на известную стойкость к различным климатическим условиям, в условиях городской среды может подвергаться различным стрессам, в частности загрязнению воздуха, нехватке влаги и недостатку пространства для развития корневой системы. Расположение

деревьев в таких условиях влияет на их рост и декоративные качества.

Важно оценить экологические условия, в которых произрастают лиственницы. Качество почвы, уровень загрязнения, наличие конкурирующей растительности, а также влияние климатических факторов, таких как температура воздуха и количество осадков, могут оказывать существенное влияние на их здоровье. Например, засушливые условия могут привести к снижению декоративности и увеличению восприимчивости к болезням.

Неотъемлемым аспектом является оценка антропогенного воздействия на насаждения лиственницы. В этом смысле можно рассмотреть влияние человеческой деятельности на жизненное состояние деревьев, в частности особенности ухода за зелеными насаждениями, т.е. стрижка, внесение удобрений, борьба с вредителями и болезнями, а также вопросы, касающиеся соблюдения правил безопасности при проведении строительных работ рядом с зелеными насаждениями.

Необходимо учитывать эстетическую оценку деревьев с точки зрения их внешнего вида и значение в архитектурном ландшафтном дизайне. Лиственница сибирская обладает яркой осенней окраской, а ее форма может изменяться в зависимости от условий роста. Эти характеристики отражаются в восприятии деревьев в городском пространстве.

Таким образом, комплексный подход к анализу жизненного состояния лиственницы сибирской в зеленых насаждениях города должен включать в себя оценку биологических, экологических и антропогенных факторов, а также учитывать эстетику и влияние на городской ландшафт. Это поможет не только сохранить здоровье деревьев, но и повысить их декоративную ценность, как важную статью формирования комфортной городской среды (рис. 3).

Преобладающая часть растений лиственницы сибирской в зеленых посадках находится в основном в хорошем состоянии (58 %). Благодаря своим биологическим особенностям лиственница относительно устойчива к загрязнению. Она может произрастать на различных типах почв, что расширяет ее применение в урбанофлоре [24–27]. Единичные экземпляры имеют усыхание и дехромацию хвои, механические повреждения, встречаются сухостойные экземпляры. В некоторых местах наблюдаются загущенные посадки.

Что касается декоративности лиственницы, то 70 % учтенных растений имеют 3 и 4 балла. Изменения в цвете хвои в разные времена года делают дерево интересным в декоративном

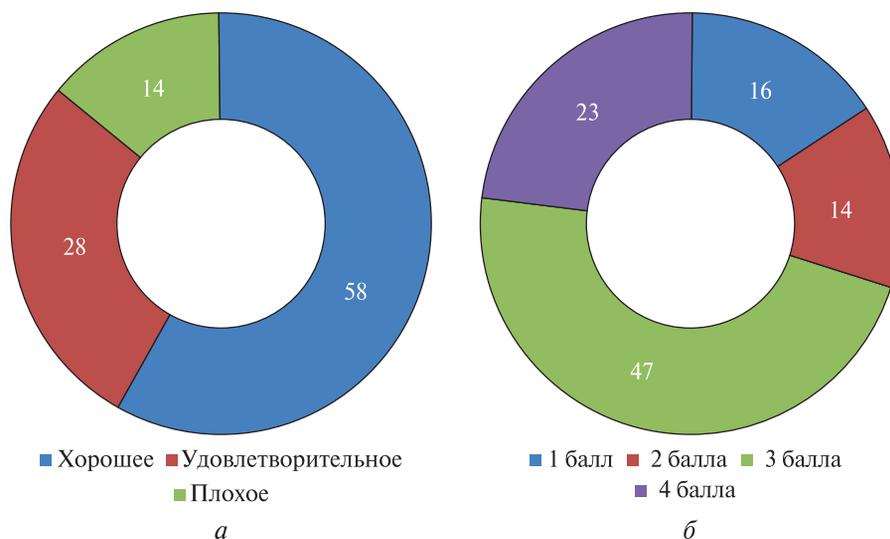


Рис. 3. Жизненное состояние (а) и декоративность (б) деревьев лиственницы в урбанофлоре Архангельска

Fig. 3. The vital condition (a) and decorative (b) of trees *Larix Mill.* in the urban flora of Arkhangelsk

плане. Так, золотистая хвоя осенью добавляет данному виду эстетическую привлекательность. Наличие механических повреждений чаще наблюдается у особей, произрастающих на улицах вдоль транспортных и пешеходных магистралей, и проявляется в повреждении ветвей и коры, в том числе снегоуборочной техникой и техникой по развешиванию светодиодных гирлянд. Также загущенные посадки привели к преждевременному усыханию отдельных ветвей и неправильно сформированной кроне. Вследствие чего растениям присваивался 1 и 2 балла декоративности, в зависимости от степени потери привлекательности и эстетичности экземпляра.

Исследования показали, что лиственницу можно использовать как в парковых зонах, так и по периметру улиц, создавая живые изгороди или групповые посадки.

Акклиматизация растений в городских условиях — это важный процесс, который напрямую влияет на биологическое разнообразие и экосистемное равновесие городской среды. Одним из ключевых аспектов акклиматизации является всхожесть семян, так как она отражает способность растений адаптироваться к новым условиям, таким как загрязненный воздух, измененные температуры и уровень влажности, а также различная почва и наличие искусственных приспособлений для роста [28–33].

Показатели качества семян определяли у лиственниц сибирской, японской, Сукачева и даурской (табл. 2).

Проведенные исследования по проращиванию семян позволили установить, что ли-

Т а б л и ц а 2

Результаты проращивания семян у представителей рода Лиственница
The results of seed germination in representatives of the genus *Larix Mill.*

Видовое название лиственницы	Энергия прорастания, %	Техническая всхожесть, %	Абсолютная всхожесть, %
Сибирская	0	21,1	38,5
Японская	0	10,5	24,8
Сукачева	15	15,0	35,1
Даурская	7	39,3	68,8

ственницы в целом характеризуются низким качеством семян. Значение энергии прорастания семян у исследуемых видов лиственниц в пределах от 0 до 15 % свидетельствует о том, что семена имеют разный потенциал для успешного начала жизненного цикла в зависимости от их биологических и физиологических особенностей.

Информация о всхожести семян различных видов лиственницы указывает на различия в их жизнеспособности и способности к проращиванию [34, 35]. Абсолютная всхожесть посевного материала находится в пределах от 24,8 % (лиственница японская) до 68,8 % (лиственница даурская). Е.Н. Наквасина, А.И. Барабин, П.Р. Тихонов, А.А. Елисеев [36] по результатам своих исследований относят семена лиственницы к третьему классу жизнеспособности. Это объясняется в первую очередь тем, что

отсутствие воздушных мешочков у пыльцы лиственницы не дает ей далеко распространяться. Большая часть пыльцы просто падает под кроной дерева-опылителя, вследствие чего соседние семяпочки оказываются неопыленными. А также это может усугубиться и дождливой погодой: капли воды прибывают к земле тяжелую пыльцу, не давая ей разлетаться [37].

На основании изложенного заключим, что низкое качество семян лиственницы может быть связано с рядом факторов, включая нестабильность условий окружающей среды, влияние болезней и вредителей, а также особенности самих деревьев, такие как неправильное опыление или невызревание семян. Качество семян может изменяться в зависимости от конкретного вида лиственницы, условий произрастания и селекционных мероприятий. В связи с этим, при работе с семенами лиственницы важно учитывать эти факторы для достижения наилучших результатов.

Полученные данные будут полезны при выборе флористического состава для озеленения, в том числе использования лиственницы в садово-парковом строительстве в пределах региона.

Выводы

На основе проведенных исследований можно заключить, что лиственница является ценным хвойным деревом для городского ландшафта Архангельска, обладая декоративными, эстетическими, экологическими, шумопоглощающими, оздоровительными свойствами. В урбанофлоре Архангельска лиственница занимает 32 % среди всех хвойных деревьев. При анализе качества семян установлено, что семена лиственницы японской имеют низкий процент всхожести (24,8 %), в то время как у лиственниц Сукачева и сибирской данный показатель составляет соответственно 35,1 и 38,5 %. Наивысшие значения наблюдаются у семян лиственницы даурской (68,8 %). В городском озеленении Архангельска наиболее широко применяется лиственница сибирская, которая успешно адаптируется к городским условиям, формируя красивую густую крону с яркой хвоей. Большинство экземпляров лиственницы сибирской в зеленых насаждениях находится в хорошем состоянии (58 %) и демонстрирует удовлетворительные декоративные качества (70 % растений имеют балл декоративности 3 и 4). Исследования показали, что представители рода Лиственница произрастают в парках, скверах, на улицах и в зонах жилой застройки, а также на территориях образовательных и медицинских учреждений.

Список литературы

- [1] Богданов А.П. Закономерности строения, рост и нормативы таксации лиственничных древостоев Архангельской области: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.02. Архангельск, САФУ, 2013. 22 с.
- [2] Неверов Н.А., Беляев В.В. Влияние геоэкологических факторов среды на распространение лиственницы сибирской (*Larix sibirica*) в Архангельской области // Биология, 2014. С. 90–97.
- [3] Тихонов П.Р. Изучение генофонда лиственницы в коллекционных посадках и природных насаждениях Архангельской области: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук 06.03.01. Архангельск, САФУ, 2006. 24 с.
- [4] Рубцов М.В., Глазунов Ю.Б., Николаев Д.К. Лиственница европейская в центре Русской равнины // Лесное хозяйство, 2011. № 5. С. 26–29.
- [5] Кашин В.И., Козобродов А.С. Лиственничные леса Европейского Севера России. Архангельск: Изд-во Архангельского филиала Русского географического общества РАН, 1994. 220 с.
- [6] Лысыков А.Б., Мельник П.Г., Мерзленко М.Д., Колесников А.В. Изменения дерново-подзолистой почвы в лесных культурах лиственницы европейской за длительный период // ИзВУЗ Лесной журнал, 2024. № 2. С. 90–104. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2024-2-90-104>
- [7] Феклистов П.А. Насаждения деревьев и кустарников в условиях урбанизированной среды г. Архангельска. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2004. 112 с.
- [8] Kiehl K. Plant Species Introduction in Ecological Restoration: Possibilities and Limitations // Basic and Applied Ecology, 2010, v. 11, iss. 4, pp. 281–284. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.baae.2010.02.008>
- [9] Łopucki R., Klich D., Kitowski I., Kiersztyn A. Urban Size Effect on Biodiversity: The Need for a Conceptual Framework for the Implementation of Urban Policy for Small Cities // Cities, 2020, v. 98, art. 1002590. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.102590>
- [10] Балакин В.В., Сидоренко В.Ф., Слесарев М.Ю., Антюфеев А.В. Формирование средозащитных объектов озеленения в градозащитных системах // Вестник МГСУ, 2019. Т. 14. № 8. С. 1004–1022.
- [11] Дебринюк Ю.М., Белеля С.О. Формова різноманітність і життєвий стан модрини у насадженнях Західного Полісся // Наукові праці Лісівничої академії наук України, 2016. Вип. 14. С. 117–125.
- [12] Esper J., Riechelmann D.F.C., Holzkämper S. Circumferential and Longitudinal $\delta^{13}\text{C}$ Variability in a Larix decidua Trunk from the Swiss Alps. // Forests, 2020, v. 11, no. 1, art. no. 117. <https://doi.org/10.3390/f11010117>
- [13] Melnik L.P. Dissemination of Larch and its Natural Regeneration Composition Dynamics under the Conditions of Simple Fresh Subor of the Nikolskaya Lesnaya Dacha // Eurasian Forests – Serbian Forests: Materials of the XVIII Int. Conf. of Young Scientists, Dedicated to the Academician Prof. Žarko Miletić (1891–1968). Belgrade, University of Belgrade Faculty of Forestry, 2019, pp. 135–139.
- [14] Зальвская О.С., Бабич Н.А., Хамитов П.С. Таксономическая структура видов дендрофлоры в урбано-системах Архангельской области // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 2. С. 67–75. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-2-67-75

- [15] ГОСТ 13056.6–97. Семена деревьев и кустарников. Метод определения всхожести. Введ. 01.07.1998. М.: ИПК Изд-во стандартов, 1998. 28 с.
- [16] Сунгурова Н.Р., Страздаускене С.Р., Стругова Г.Н. Хвойные виды в урбанофлоре Архангельска // Хвойные бореальной зоны, 2023. Т. 41. № 6. С. 466–473.
- [17] Брынцев В.А., Лавренов М.А., Коженкова А.А. Исследование морфологических признаков и посевных качеств семян видов рода *Larix Mill.* в условиях интродукции // ИзВУЗ Лесной журнал, 2022. № 2. С. 26–38. DOI: 10.37482/0536-1036-2022-2-26-38
- [18] Антонов А.М. Ландшафтная архитектура парков северных городов // Концепт, 2014. Т. 20. С. 1956–1960.
- [19] Игамбердиева А.А., Сунгурова Н.Р. Хвойные виды растений в озеленении Архангельска // Молодой ученый, 2020. № 41 (331). С. 41–44.
- [20] Рысин Л.П. Лиственничные леса России. М.: КМК, 2010. 343 с.
- [21] Коптева А.С., Дреко В.С. Выбор пород деревьев для озеленения территорий г. Архангельска // Символ науки, 2015. № 7. С. 168–170.
- [22] Петрик Н.И., Петрик В.В. К вопросу использования интродуцированных пород дендрологического сада САФУ в озеленении города Архангельска // Экологические проблемы Арктики и северных территорий, 2014. С. 65–67.
- [23] Мерзленко М.Д., Бабич Н.А. Лесные культуры лиственницы на европейской территории России. Архангельск: САФУ, 2021. 128 с.
- [24] Каппер О.Г. Хвойные породы. Лесоводственная характеристика. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1954. 303 с.
- [25] Ирошников А.И. Лиственницы России. Биоразнообразие и селекция. Ч. 1. М.: ВНИИЛМ, 2004. 182 с.
- [26] Jia Q., Zhang H., Zhang L., Zhang H. Variation Analysis of Hybrid Larch Families and Superior Families Selection // J. of Northeast Forestry University, 2016, iss. 4, pp. 1–7.
- [27] Zhang G.-J., Dai B., Sun H., Zhao Y., Jia X., Wang W., Yang J. Seed Germination and Seedling Growth Characteristics of 25 *Larix principis-rupprechtii* Provenances // J. of Northeast Forestry University, 2015, v. 7, pp. 11–14.
- [28] Татарникова В.Ю., Дашиева О. Древесные растения и городская среда // Актуальные проблемы лесного комплекса. Брянск: Изд-во БГИТУ, 2009. № 23. С. 191–194.
- [29] Царев А.П., Погиба С.П., Тренин В.В. Селекция и репродукция лесных древесных пород. М.: Логос, 2002. 520 с.
- [30] Кулаков Е.Е., Сиволапов А.И. Микроспорогенез и образование пыльцы у лиственницы Сукачева (*Larix Sukaczewii* Djl.) на постоянном лесосеменном участке Семилукского лесопитомника // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 3. С. 42–48. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-3-42-48
- [31] Fedorkov A. Stem Growth and Quality of Six Provenances of *Larix sukaczewii* Dyl. and *Larix sibirica* Ledeb. in a Field Trial Located in North-West Russia // Baltic Forestry, 2017, v. 23, no. 3(46), pp. 603–607.
- [32] Gradel A., Ganbaatar B., Nadaldorj O., Dovdondemberel B., Kusbach A. Climate- Growth Relationships and Pointer Year Analysis of a *Siberian Larch* (*Larix sibirica* Ledeb.) Chronology from the Mongolian Mountain Forest Steppe Compared to White Birch (*Betula platyphylla* Sukaczew) // Forest Ecosystems, 2017, v. 4, art. 22. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40663-017-0110-2>
- [33] Мельник Л.П. Естественное возобновление лиственницы европейской за пределами ареала при минимальном количестве семенников // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 6. С. 39–44. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-6-39-44
- [34] Макаров В.П., Малых О.Ф., Желибо Т.В. Изменчивость признаков генеративных органов лиственницы Гмелина в условиях Восточного Забайкалья // ИзВУЗ Лесной журнал, 2022. № 4. С. 70–90. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2022-4-70-90>
- [35] Галдина Т.Е., Чернодубов А.И. Продуктивность лиственницы различного происхождения в условиях Воронежской области // ИзВУЗ Лесной журнал, 2022. № 4. С. 101–114. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2022-4-101-114>
- [36] Наквасина Е.Н., Барабин А.И., Тихонов П.Р., Елисеев А.А. Лиственница на Архангельском Севере: биология, изменчивость, сохранение. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2008. 216 с.
- [37] Альбенский А.В. Селекция древесных пород и семеноводство. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1959. 305 с.

Сведения об авторах

Сунгурова Наталья Рудольфовна [✉] — д-р с.-х. наук, доцент, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (САФУ), n.sungurova@narfu.ru

Страздаускене Светлана Рудольфовна — аспирант, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (САФУ), svsun@bk.ru

Бабич Николай Алексеевич — д-р с.-х. наук, профессор, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (САФУ)

Поступила в редакцию 27.03.2025.

Одобрено после рецензирования 16.07.2025.

Принята к публикации 03.09.2025.

LARIX (LARIX MILL.) IN ARKHANGELSK URBAN PLANTATIONS

N.R. Sungurova[✉], S.R. Strazdauskene, N.A. Babich

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, 17, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 163002, Arkhangelsk, Russia

n.sungurova@narfu.ru

Larix is one of the main coniferous species widely used in the urban flora of Arkhangelsk. In urban plantations, this breed is characterized by rapid growth, stability, good soil protection properties, and high decorative value. *Larix* has proven itself positively in the green plantings of the North due to its high adaptive ability. The purpose of our research is to determine the qualitative indicators of seeds of representatives of the genus *Larix* Mill. and an analysis of the use of *Larix* in urban plantings in Arkhangelsk. The research covers the seeds of *Larix sibirica*, *Larix kaempferi*, *Larix sukaczewii*, and *Larix gmelinii*. It was found that the seeds of *Larix kaempferi* (24,8 %) have low quality, intermediate indicators of absolute germination in *Larix sukaczewii* (35,1 %) and *Larix sibirica* (38,5 %). The highest values of this indicator are possessed by the seeds of *Larix gmelinii* (68,8 %). The native species, Siberian larch, is used as widely as possible in urban plantings. It is found in parks and squares, on streets and in residential areas, on the territories of educational and medical institutions, on squares. This species responds well to the conditions of the urban environment, has a well-developed, well-formed crown with bright juicy needles.

Keywords: Larix, seeds, germination, germination energy, landscaping, green spaces

Suggested citation: Sungurova N.R., Strazdauskene S.R., Babich N.A. *Listvennitsa v gorodskikh nasazhdeniyakh Arkhangel'ska* [Larix (Larix Mill.) in Arkhangelsk urban plantations]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2025, vol. 29, no. 5, pp. 110–119. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-5-110-119

References

- [1] Bogdanov A.P. *Zakonmernosti stroeniya, rosta i normativy taksatsii listvennitsnykh drevostoev Arhangel'skoi oblasti* [Patterns of structure, growth and standards of taxation of *Larix* stands of the Arkhangelsk region]. Dis. Cand. Sci. (Agric.) 06.03.02. Arkhangelsk, NArFU, 2013, 22 p.
- [2] Neverov N.A., Belyaev V.V. *Vliyanie geoekologitseskikh faktorov sredy na rasprostranenie Larix sibirica v Arhangel'skoi oblasti* [Influence of geoecological environmental factors on the distribution of *Larix sibirica* in the Arkhangelsk region]. *Biology*, 2014, pp. 90–97.
- [3] Tikhonov P.R. *Izuchenie genofonda Larix v kollektsonnykh posadkakh i prirodnykh nasazhdeniyakh Arhangel'skoi oblasti* [The study of the *Larix* gene pool in collection plantings and natural plantations of the Arkhangelsk region]. Dis. Cand. Sci. (Agric.) 06.03.01. Arkhangelsk, NArFU, 2006, 24 p.
- [4] Rubtsov M.V., Glazunov Yu.B., Nikolaev D.K. *Listvennitsa evropeiskaya v tsentre Russkoi ravniny* [European larch in the center of the Russian plain]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry], 2011, no. 5, pp. 26–29.
- [5] Kashin V.I., Kozobrodov A.S. *Listvennichnye lesa Evropeiskogo Severa Rossii* [Larch Forests of the European North of Russia]. Arkhangelsk: Arkhangelsk Branch RGS RAS PUBL., 1994, 220 p.
- [6] Lysikov A.B., Melnik P.G., Merzlenko M.D., Kolesnikov A.V. *Izmeneniya dervno-podzolistoi pothvy v lesnykh kulturakh Larix sibirica za dlitelnyi period* [Changes in sod-podzolic soil in European *Larix* forest crops over a long period]. *Russian Forest J.*, 2024, no. 2, pp. 90–104. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2024-2-90-104>
- [7] Feklistov P.A. *Nasazhdeniya derevev i kustarnikov v usloviyakh urbanizirovannoi sredy g. Arhangel'ska* [Plantings of trees and shrubs in the urbanized environment of Arkhangelsk]. Arkhangelsk: AGTU, 2004, 112 p.
- [8] Kiehl K. Plant Species Introduction in Ecological Restoration: Possibilities and Limitations. *Basic and Applied Ecology*, 2010, v. 11, iss. 4, pp. 281–284. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.baec.2010.02.008>
- [9] Łopucki R., Klich D., Kitowski I., Kiersztyn A. Urban Size Effect on Biodiversity: The Need for a Conceptual Framework for the Implementation of Urban Policy for Small Cities. *Cities*, 2020, v. 98, art. 1002590. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.102590>
- [10] Balakin V.V., Sidorenko V.F., Slesarev M.Yu., Antyufeev A.V. *Formirovanie sredozatsitnykh obektov ozeleneniya v gradoekologicheskikh sistemakh* [Formation of environmental protection objects of landscaping in urban ecological systems]. *Bulletin of MGSU*, 2019, v. 14, no. 8, pp. 1004–1022.
- [11] Debrinyuk Yu.M., Belelya S.O. *Formova riznomanitnist' i zhitteviy stan modrini u nasazhennykh Zakhidnogo Polissya* [Form diversity and habitat of fashion in the plantations of Western Polissia]. *Naukovi pratsi Lisivnichoi akademii nauk Ukraini* [Scientific Works of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine], 2016, v. 14, pp. 117–125.
- [12] Esper J., Riechelmann D.F.C., Holzkämper S. Circumferential and Longitudinal $\delta^{13}C$ Variability in a *Larix decidua* Trunk from the Swiss Alps. *Forests*, 2020, v. 11, no. 1, art. no. 117. <https://doi.org/10.3390/f11010117>
- [13] Melnik L.P. Dissemination of Larch and its Natural Regeneration Composition Dynamics under the Conditions of Simple Fresh Subor of the Nikolskaya Lesnaya Dacha. *Eurasian Forests – Serbian Forests: Materials of the XVIII International Conference of Young Scientists, Dedicated to the Academician Prof. Žarko Miletić (1891–1968)*. Belgrade, University of Belgrade Faculty of Forestry, 2019, pp. 135–139.
- [14] Zalivskaya O.S., Babich N.A., Khamitov R.S. *Taksonomitseskaya struktura vidov dendroflory v urbanosistemakh Arhangel'skoi oblasti* [Taxonomic structure of dendroflora species in urban systems of the Arkhangelsk region]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2023, vol. 27, no. 2, pp. 67–75. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-2-67-75
- [15] GOST 13056.6–97. *Semena drev'ev i kustarnikov. Metod opredeleniya vskhozhesti. Vved. 01.07.1998* [Seeds of trees and shrubs. The method of determining germination. Introduction. 07.01.1998]. Moscow: IPK Publishing House of Standards, 1998. 28 p.
- [16] Sungurova N.R., Strazdauskene S.R., Strugova G.N. *Hvoynye vidy v urbanoflore Arhangel'ska* [Coniferous species in urban flora of Arkhangelsk]. *Khvoynye boreal'noy zony* [Coniferous boreal zones], 2023, vol. 41, no. 6, pp. 466–473.

- [17] Bryntsev V.A., Lavrenov M.A., Kozhenkova A.A. *Issledovanie morfoloicheskikh priznakov i posevnykh kachestv semyn vidov roda Larix* Mill. v usloviyah introduktsii [Investigation of morphological features and sowing qualities of seeds of species of the genus *Larix* Mill. in the conditions of introduction]. Russian Forestry J., 2022, no. 2, pp. 26–38. DOI: 10.37482/0536-1036-2022-2-26-38
- [18] Antonov A.M. *Landsafnaya arhitektura parkov severnykh gorodov* [Landscape architecture of parks of northern cities]. Concept, 2014, no. 20, pp. 1956–1960.
- [19] Igamberdieva A.A., Sungurova N.R. *Hvoynye vidy rastenii v ozelenenii Arhangelska* [Coniferous plant species in the landscaping of Arkhangelsk]. Molodoy uchenyy [Young Scientist], 2020, no. 41 (331), pp. 41–44.
- [20] Rysin L.P. *Listvennichnye lesa Rossii* [Larch Forests of Russia]. Moscow: KMK Publ., 2010, 343 p.
- [21] Kopteva A.S., Dreko V.S. *Vibor porod derevev dlya ozeleneniya territorii g. Arhangelska* [The choice of tree species for landscaping the territories of Arkhangelsk]. Symbol of Science, 2015, no. 7, pp. 168–170.
- [22] Petrik N.I., Petrik V.V. *K voprosu ispolzovaniya introdutsirovannykh porod dendrologitseskogo sada SAFU v ozelenenii goroda Arhangelska* [On the use of introduced species of the SAFU arboretum garden in landscaping of the city of Arkhangelsk]. Ekologicheskie problemy Arktiki i severnykh territoriy [Environmental problems of the Arctic and northern territories], 2014, pp. 65–67.
- [23] Merzlenko M.D., Babich N.A. *Lesnye kultury listvenitsy na evropeiskoi territorii Rossii* [Forest cultures of *Larix* in the European territory of Russia]. Arkhangelsk: SAFU, 2021, 128 p.
- [24] Kapper O.G. *Hvoynye porody. Lesovodstvennaya harakteristika* [Coniferous species. Forestry characteristics]. Moscow-Leningrad: Goslesbumizdat, 1954, 303 p.
- [25] Iroshnikov A.I. *Listvenitsy Rossii. Bioraznoobrazie i selektsiya* [Larch trees of Russia. Biodiversity and breeding]. Part 1. Moscow: VNIILM, 2004, 182 p.
- [26] Jia Q., Zhang H., Zhang L., Zhang H. Variation Analysis of Hybrid Larch Families and Superior Families Selection. J. of Northeast Forestry University, 2016, iss. 4, pp. 1–7.
- [27] Zhang G.-J., Dai B., Sun H., Zhao Y., Jia X., Wang W., Yang J. Seed Germination and Seedling Growth Characteristics of 25 *Larix principis-rupprechtii* Provenances. J. of Northeast Forestry University, 2015, v. 7, pp. 11–14.
- [28] Tatarnikova V.Yu., Dashieva O. *Drevesnye rasteniya i gorodskaya sreda* [Woody plants and urban environment]. Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa [Actual problems of the forest complex]. Bryansk: BGITU, 2009, no. 23, pp. 191–194.
- [29] Tsarev A.P., Pereba S.P., Trenin V.V. *Selektsiya i reproduktsiya lesnykh drevesnykh porod* [Breeding and reproduction of forest tree species]. Moscow: Logos, 2002, 520 p.
- [30] Kulakov E.E., Sivolapov A.I. *Mikrosporogenez i obrazovanie pyl'tsy u listvenitsy Sukacheva (Larix Sukaczewii Djil.) na postoyannom leseosemennom uchastke Semilukskogo lesopitomnika* [Microsporogenesis and pollen formation in Larch Sukachev (*Larix Sukaczewii* Djil.) on permanent forest seed plot in Semiluksky forestry]. Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin, 2021, vol. 25, no. 3, pp. 42–48. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-3-42-48
- [31] Fedorkov A. Stem Growth and Quality of Six Provenances of *Larix sukaczewii* Dyl. and *Larix sibirica* Ledeb. in a Field Trial Located in North-West Russia. Baltic Forestry, 2017, v. 23, no. 3(46), pp. 603–607.
- [32] Gradel A., Ganbaatar B., Nadaldorj O., Dovdondemberel B., Kusbach A. Climate-Growth Relationships and Pointer Year Analysis of a Siberian Larch (*Larix sibirica* Ledeb.) Chronology from the Mongolian Mountain Forest Steppe Compared to White Birch (*Betula platyphylla* Sukaczew). Forest Ecosystems, 2017, v. 4, art. 22. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40663-017-0110-2>
- [33] Melnik L.P. *Estestvennoe vozobnovlenie listvenitsy evropeyskoy za predelami areala pri minimal'nom kolichestve semennikov* [Natural regeneration of European Larch outside natural area with minimum of seed trees]. Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin, 2021, vol. 25, no. 6, pp. 39–44. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-6-39-44
- [34] Makarov V.P., Malykh O.F., Joliot T.V. *Izmenchivost priznakov generativnykh organov listvenitsy Gmelina v usloviyah Vostochnogo Zabaikalya* [Variability of signs of generative organs of *Larix gmelinii* in conditions of Eastern Transbaikalia]. Russian Forest J., 2022, no. 4, pp. 70–90. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2022-4-70-90>
- [35] Galdina T.E., Chernodubov A.I. *Produktivnost listvenitsy razlichnogo proishozhdeniya v usloviyah Voronezhskoi oblasti* [Productivity of *Larix* of various origins in the conditions of the Voronezh region]. Russian Forest J., 2022, no. 4, pp. 101–114. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2022-4-101-114>
- [36] Nakvasina E.N., Barabin A.I., Tikhonov P.R., Eliseev A.A. *Listvenitsa na Arhangelskom Severe: biologiya, izmenshivost, sohraneniye* [*Larix* in the Arkhangelsk North: biology, variability, conservation; monograph]. Arkhangelsk: AGTU, 2008, 216 p.
- [37] Albensky A.V. *Selektsiya drevesnykh porod i semenovostvo* [Selection of tree species and seed production]. Moscow-Leningrad: Goslesbumizdat, 1959, 305 p.

Authors' information

Sungurova Natal'ya Rudol'fovna  — Dr. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, n.sungurova@narfu.ru

Strazdauskene Svetlana Rudol'fovna — pg. of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, svsun@bk.ru

Babich Nikolai Alekseevich — Dr. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

Received 27.03.2025.

Approved after review 16.07.2025.

Accepted for publication 03.09.2025.

Вклад авторов: все авторы в равной доле участвовали в написании статьи
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article
The authors declare that there is no conflict of interest

АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ЕЛИ И ПИХТЫ РАЗНОГО САНИТАРНОГО СОСТОЯНИЯ

И.Л. Бухарина¹✉, М.В. Ларионов², А.С. Пашкова¹,
К.Е. Ведерников¹, А.С. Белеля¹

¹ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет», Россия, 426034, Удмуртская Республика, г. Ижевск, ул. Университетская, д. 1

²ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)», Россия, 125080, Москва, Волоколамское шоссе, д. 11

buharin@udmlink.ru

Представлены результаты исследований фотосинтетических процессов методом пульс-амплитудной флуориметрии с помощью прибора Walz JUNIOR-PAM у хвойных древесных растений (ель и пихта) разных категорий санитарного состояния, произрастающих в Пермском крае. Проведены измерения флуориметром PAM, которые связаны с использованием нескольких типов освещения: измерительного света, актинического света и импульсов насыщения. С помощью актинического света индуцируется фотосинтетическая активность, а импульсы насыщения применяются для определения максимального выхода флуоресценции. Третий компонент, модулированный измерительный свет, сам по себе практически не вызывает фотосинтеза, но измеряет/наблюдает за изменениями (флуоресцентного) выхода. Флуориметр регистрирует только реакцию флуоресценции, вызванную модулированным светом. Выполнена оценка эффективного квантового выхода $Y(II)$, плотности транспорта электронов по электрон-транспортной цепи тилакоидных мембран (ETR), нефотохимического тушения флуоресценции хлорофилла (NPQ), а также коэффициента фотохимического тушения флуоресценции хлорофиллов (qP). Установлено, что показатели ETR, $Y(II)$, NPQ и qP у деревьев отражают их индивидуальное состояние: у деревьев 4-й категорий санитарного состояния эти показатели значительно снижаются, по сравнению с деревьями более высоких категорий, а показатель qP равен нулю или около нуля.

Ключевые слова: фотосинтез, продуктивность, пробные площади, флуориметрия, санитарное состояние деревьев, биоиндикация

Ссылка для цитирования: Бухарина И.Л., Ларионов М.В., Пашкова А.С., Ведерников К.Е., Белеля А.С. Анализ показателей фотосинтетической продуктивности у деревьев ели и пихты, полученных методом пульс-амплитудной флуориметрии // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2025. Т. 29. № 5. С. 120–135. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-5-120-135

РАМ-флуориметрия (Pulse Amplitude Modulation — амплитудно-импульсная модуляция) представляет собой метод оценки процесса фотосинтеза при импульсно-модулированном возбуждении, т. е. не только фотосинтетической активности, но и нескольких основных регуляторных механизмов, контролирующих процесс фотосинтеза.

РАМ-флуориметрия измеряет фотосинтетическую активность внутри листа при минимальном или полном отсутствии внешнего воздействия. Подобно тому, как фотоаппарат может сделать цветное изображение листа, РАМ-камера может снять фотосинтез внутри листа. При коротком импульсе сильного света (< 1 с) изображение РАМ «проявляется» и получается пространственная картина скорости фотосинтетического транспорта электронов

(фотосинтеза). Независимо от того, используется ли визуализация или более распространенное точечное измерение (измеряется всего несколько квадратных миллиметров листа, о чем и пойдет речь), информация, полученная с помощью РАМ-флуориметрии, оказалась очень важной для понимания механизмов фотосинтеза и того, как фотосинтез реагирует на изменения условий окружающей среды и стресс. РАМ-флуориметрия позволяет отслеживать динамическую природу фотосинтеза.

Растения, регулярно подвергающиеся воздействию яркого солнечного света, способны справляться с высокой интенсивностью освещения, но зачастую не очень эффективно воспринимают низкую интенсивность света. Если растениям необходимо приспособиться к низкой освещенности, деревья часто используют большие антенны реакционных центров PS II и низкую производительность цикла Кальвина — Бенсона.

При высокой освещенности деревья часто направляют процессы на создание большего количества реакционных центров PS II с меньшими антеннами и высокой производительностью цикла Кальвина — Бенсона [1].

Концепция физиологического состояния фотосинтетической системы является ключевой для понимания РАМ-флуориметрии. Физиологическое состояние обычно зависит от условий окружающей среды (эффекты памяти). Актуальны условия, которые приводят к стрессовым реакциям и проявляются на физиологическом уровне состояния растений, например экстремальные условия, в частности, засуха или высокая температура, могут вызвать изменения в структуре и функционировании фотосинтетического аппарата, влияющие на использование света и скорость фотосинтеза, а физиологическое состояние может оставаться измененным и после снятия стресса [2–6]. Даже слабые стрессы, происходящие в окружающей среде, такие как быстрые изменения освещенности в пасмурный день или мерцающий свет в лесу, связанный с движением ветвей и деревьев на ветру (солнечные пятна), могут оказать заметное влияние на эффективность использования растениями солнечного света [7].

К нарушениям лесного покрова приводят разные природные факторы. В частности, в Европе максимальная потеря лесов (46 %) происходит от ветровалов, 24 % лесов теряется от пожаров и 17 % лесов гибнет от воздействия вредителей, преимущественно стволовых. Однако в последние десятилетия на фоне глобального потепления климата леса все больше теряют устойчивость к воздействию болезней и вредителей. Площадь потерь лесов в Европе вследствие всплеск массового размножения вредителей удвоилась за последние 20 лет [8–10].

Динамические изменения в окружающей среде происходят в разных временных масштабах и в ответ на многие переменные окружающей среды. Растения чувствительны к этим изменениям. В процессе фотосинтеза у растений функционируют два типа антенн и реакционных центров, известные как фотосистемы I (PS I) и II (PS II). Из этих двух фотосистем именно PS II обладает характеристиками, полезными для РАМ-флуориметрии [11]. Например, фотосистема PS II и комплекс цитохрома b_6/f выделяют в просвет хлоропласта больше протонов, чем может использовать АТФ-синтаза. Это свидетельствует о том, что активность цикла Кальвина — Бенсона не успевает за темпами транспорта электронов в фотосинтетическом аппарате. Увеличение кислотности просвета приводит к замедлению потока электронов

к фотосистеме PS I и инициирует механизм, способствующий увеличению тепловыделения антенн PS II. Изменения рН просвета является частью механизма обратной связи, позволяющего фотосинтетическому аппарату приводить в равновесие транспорт электронов и активность цикла Кальвина — Бенсона [12–15].

Растения выработали некоторые механизмы, регулирующие захват света и теплоотдачу в ходе фотосинтеза. Фотосинтезирующие организмы нашли способ эффективно использовать низкую интенсивность света и в то же время эффективно рассеивать избыток поглощенного света, который не может быть использован для фотохимических реакций [16].

Хлорофилл — основной пигмент растительной клетки. Одно из свойств молекулы хлорофилла — способность флуоресцировать. Растворы хлорофилла *a*, преобладающей формы данного пигмента, характеризуются достаточно высоким квантовым выходом флуоресценции — 20...35 %. Квантовый выход флуоресценции хлорофилла, находящегося в живых растениях, гораздо ниже — 1...10 % [17].

Возбужденное состояние хлорофилла потенциально вредно для растений. Вероятность этого не очень высока, но энергия возбуждения может привести к образованию синглетных радикалов кислорода, которые могут вызвать окислительное повреждение фотосистемы PS II и фотосинтетического аппарата. Регуляция «безопасного» пути теплоотдачи в условиях высокой освещенности может значительно снизить этот риск. Регуляция пути рассеивания тепла означает снижение флуоресценции и потенциальное снижение фотохимических реакций. Эти изменения можно количественно оценить и контролировать с помощью РАМ-флуориметра [18, 19].

В настоящее время в исследованиях фотосинтеза широко используются методы, основанные на измерении и анализе замедленной флуоресценции хлорофилла. Большие перспективы развития данной области определяются интегральностью флуоресцентных показателей, позволяющей использовать параметры флуоресценции для получения разнообразных данных о функционировании фотосинтетического аппарата растений и изучения действия на фотосинтез различных факторов [20].

Изучение реакций фотосинтеза на стрессовые воздействия представляет собой важную задачу, которая может быть использована для оценки повреждений фотосинтетического аппарата под воздействием различных стрессоров [21, 22]. Регуляторные процессы, происходящие на уровне тилакоидных мембран, хлоропластов и растений в целом имеют ключевое значение

в формировании быстрых ответов растений на стрессовые факторы, включая механизмы нефотохимического тушения флуоресценции (NPQ), которые способствуют защите фотосистемы от избыточной световой энергии и предотвращают повреждение фотосинтетических компонентов [13, 23–25].

В контексте фотосинтеза флуоресценция представляет собой процесс, при котором молекулы хлорофилла *a* (Chl *a*) излучают свет в ответ на поглощение фотонов. Когда фотон, обладающий энергией, соответствующей специфической длине волны, инцидентно поглощается пигментом (например, хлорофиллом), происходит возбуждение электрона, что приводит к переходу его на более высокую энергетическую орбиталь. В результате, пигментная молекула оказывается в возбужденном состоянии. Эти возбужденные состояния характеризуются высокой нестабильностью и имеют очень короткие периоды (время жизни), варьирующие от 10^{-12} до 10^{-9} с. В конце этого периода молекулы теряют избыточную энергию, возвращаясь в основное состояние, что осуществляется либо через излучение флуоресцентного света, либо через тепловые потери [26, 27].

Физиологическое состояние фотосистемы PS II определяет время жизни энергии возбуждения: при коротком времени жизни выход флуоресценции составляет около 1...2 %, при длинном — может достигать 10 %. Это примерно 5–6-кратное увеличение от начального уровня флуоресценции (квантовый выход флуоресценции, F_0) до максимального (F_m) называется переменной флуоресценции. Она представляет ценную информацию об альтернативных путях получения энергии, а также о тепловых и фотохимических процессах. Переменная флуоресценция является ключевым понятием и служит индикатором процессов, связанных с фотосинтетической эффективностью [28–30].

Цель работы

Цель работы — анализ основных показателей фотосинтетической активности фотосистемы PS II у деревьев (ели и пихты) разного санитарного состояния.

Материалы и методы

Объектом исследований послужили фотосинтетические процессы у хвойных древесных растений произрастающие на территории трех лесничеств центральной и западной частях Пермского края. В составе темнохвойных пород на данной территории, в пределах 15 проб-

ных площадей произрастают пихта сибирская (*Abies sibirica* Ledeb.) и ель сибирская (*Picea obovata* Ledeb.). Все указанные лесничества расположены на территории Южно-таежного района европейской части Российской Федерации [31]. Здесь представлены как здоровые, так и подвергшиеся усыханию в последние годы насаждения, что позволяет получить репрезентативные данные для анализа состояния лесного покрова.

Критерии оценки категорий санитарного состояния определены в некоторых нормативных документах [32, 33].

Зарубежные ученые [34] отмечают, что леса Российской Федерации представляют собой крупный поглотитель углерода, при этом последовательное увеличение уровня усыхания древостоев может привести к значительному сокращению площади лесов, выступающих как поглотитель углерода. Увеличение гибели насаждений может способствовать обезлесению и потере среды обитания. Потеря лесов представляет собой серьезную угрозу для биоразнообразия [35, 36].

Первоначальное ослабление или гибель части деревьев в насаждении, деградация и нарушение лесной экосистемы могут привести к последующим разрушительным последствиям, которые являются более обширными и значительными [37, 38].

Кроме того, массовое усыхание еловых древостоев способно привести к изменению состава и структуры лесов, к значительному изреживанию еловых древостоев, а также к смене пород. По мнению большинства ученых [39], смена коренных темнохвойных лесов на производные мягколиственные является нежелательным процессом, поскольку мягколиственные древостои менее продуктивны.

Всего на 15 пробных площадях с деревьев ели сибирской (*Picea obovata*) и пихты сибирской (*Abies sibirica* Ledeb.) отобрано 75 образцов одно-двухлетних побегов (1–2-годовалого прироста) со средней трети кроны растений с помощью секатора на шесте. При отборе образцов растениям была присвоена двойная нумерация, где первое число — номер пробной площади, а второе — номер дерева по порядку, растения пихты были отмечены в скобках, шкала категорий состояния представлена в таблице.

Далее у каждой пробы пятикратно измерялись показатели фотосинтетической продуктивности методом PAM — флуориметрии с использованием флуориметра JUNIOR-PAM с импульсно-модулированным освещением (Heinz, Walz — Германия).

Шкала категорий санитарного состояния хвойных деревьев [32, 33]
Sanitary Condition Classification Scale for Coniferous Trees [32, 33]

Категория санитарного состояния деревьев	Характеристика	Диагностические признаки
1	Здоровые (без признаков ослабления)	Деревья нормального развития, крона густая, нормальной формы (для этой породы, возраста, условий местопроизрастания и сезонного периода), окраска и величина хвои (листвы) нормальные, прирост текущего года нормального размера, повреждения вредителями и поражение болезнями отсутствуют, без механических повреждений ствола, скелетных ветвей, ран и дупел
2	Ослабленные	Деревья с начальными признаками ослабления, крона разреженная, хвоя светло-зеленая, прирост уменьшен, но не более чем наполовину, отдельные ветви засохли, в кроне менее 25 % сухих ветвей, возможны признаки местного повреждения ствола и корневых лап, ветвей, допустимо наличие механических повреждений и небольших дупел, не угрожающих их жизни
3	Сильно ослабленные	Деревья в активной стадии повреждения неблагоприятными факторами с явно выраженными признаками ухудшения состояния, крона ажурная, слабо развита, хвоя светло-зеленая, матовая, прирост слабый, менее половины обычного, отмечается наличие усыхающих или усохших ветвей, усыхание ветвей до 2/3 кроны, сухих ветвей от 25 до 50 %, имеются плодовые тела трутовых грибов или характерные для них дупла, возможны значительные механические повреждения ствола, суховершинность, часто имеются признаки повреждения ствола, корневых лап, ветвей, хвои болезнями и вредителями, в том числе попытки или местные поселения стволовых вредителей
4	Усыхающие	Деревья, в сильной степени поврежденные, с максимальной вероятностью их усыхания в текущем вегетационном периоде, крона сильно ажурная, изреженная, хвоя серая, желтоватая или желто-зеленая, прирост очень слабый или отсутствует, хвоя на побегах текущего года не развита, усыхание более 2/3 ветвей, сухих ветвей более 50 %, на стволе и ветвях выражены явные признаки заселения стволовых вредителей (входные отверстия, насечки, смолотечение, смоляные воронки, буровая мука и опилки, насекомые на коре, под корой и в древесине)
5	Погибшие	Деревья, полностью утратившие жизнеспособность
5(а)	Свежий сухостой	Деревья, усохшие в течение текущего вегетационного периода, хвоя серая, желтая или красно-бурая, кора частично опала, на стволе, ветвях и корневых лапах часто признаки заселения стволовыми вредителями или их вылетные отверстия
5(б)	Свежий ветровал	Деревья, вываленные ветром в текущем году с полностью или частично оборванными корнями, хвоя зеленая, серая, желтая или красно-бурая, кора обычно живая, ствол повален или наклонен с обрывом более 1/3 корней
5(в)	Свежий бурелом	Деревья со сломанными ветром стволами в текущем году, хвоя зеленая, серая, желтая или красно-бурая, кора ниже слома обычно живая, ствол сломлен ниже 1/3 протяженности кроны
5(г)	Старый сухостой	Деревья, погибшие в предшествующие годы, живая хвоя (листва) отсутствует или сохранилась частично, мелкие веточки и часть ветвей опали, кора разрушена или осыпалась частично или полностью, на стволе и ветвях имеются вылетные отверстия насекомых, стволовые вредители вылетели, в стволе возможно наличие мицелия дереворазрушающих грибов, снаружи — плодовых тел трутовиков
5(д)	Старый ветровал	Деревья, вываленные ветром в предшествующие годы, с полностью оборванными корнями, живая хвоя (листва) отсутствует, кора и мелкие веточки осыпались частично или полностью, ствол повален или наклонен с обрывом более 1/3 корней, стволовые вредители вылетели
5(е)	Старый бурелом	Деревья со сломанными ветром стволами в предшествующие годы, живая хвоя (листва) отсутствует, кора и мелкие веточки осыпались частично или полностью, ствол сломлен ниже 1/3 протяженности кроны, стволовые вредители выше места слома вылетели, ниже места слома могут присутствовать: живая кора, водяные побеги, вторичная крона, свежие поселения стволовых вредителей

Флуориметр JUNIOR-PAM не требует отдельного источника питания, электропитание происходит от компьютера через кабель USB. Все оптические и электронные компоненты прибора размещены внутри компактного базового блока (размеры 11,5×6,5×3,0 см). Получение сигнала от образца происходит с помощью оптоволоконного кабеля 1,5 мм диаметром и длиной 50 см. В комплекте два зажима-держателя для листьев: зажим 60° для измерений при внешнем освещении, а также магнитный зажим для измерения «темнового» измерения Fo-Fm и Fv/Fm. Также в прибор встроен источник «дальнего красного» света 745 нм (Far-red) для избирательного возбуждения системы ФС I [40].

Перед проведением измерений побеги подвергались темновой адаптации в течение 30 мин.

Максимум PPF (Photosynthetic Photon Flux Density — плотность потока фотосинтетически активных фотонов) насыщающего импульса составил 10 000 мкмоль фотонов м⁻² · с⁻¹, продолжительностью 0,6 с [41]. AL (Actinic light, актиничный свет) характеризовался длиной волны 450 нм и интенсивностью 420 мкмоль фотонов м⁻² · с⁻¹.

В ходе исследования были определены следующие показатели:

Y(II) — эффективный фотохимический квантовый выход фотосистемы PS II (эффективный квантовый выход фотохимического тушения) при адаптации тканей к свету, представляющий собой эффективность использования поглощенных фотонов в процессе фотосинтеза.

Для того, чтобы перевести показатель Y(II) в скорость фотосинтеза, необходимо независимое измерение поглощенного света. Для фотосинтеза уровень освещенности обычно измеряется в единицах потока фотонов, а не в ваттах (другая широко используемая единица измерения световой энергии). Фотонная основа имеет свои преимущества, поскольку высокоэнергетические синие фотоны так же эффективно индуцируют фотохимический перенос электронов, как и низкоэнергетические красные фотоны. Для обычных листьев поглощается ~85 % падающих фотонов (поглощение-A). Для перевода поглощения фотонов и фотохимической эффективности в фотосинтез, учитывали, что для получения одного электрона требуется два фотохимических этапа: PS II и PS I.

В листьях соотношение между двумя фотосистемами часто принимается равным 1, исходя из этого, скорость фотосинтеза можно выразить как «скорость транспорта электронов» (ETR) из уравнения

$$ETR = Y(II) \cdot E \cdot A \cdot 0,5.$$

где ETR можно пересчитать на эквивалентную норму O₂, разделив на 4 (4 e-/O₂).

ETR — плотность транспорта электронов по электрон-транспортной цепи тилакоидных мембран;

NPQ — нефотохимическое тушение флуоресценции Chl *a*.

Процесс нефотохимического тушения описывается уравнением Штерна — Фольмера, согласно которому степень тушения флуоресценции пропорциональна количеству активных центров, что позволяет проводить анализ взаимодействий между флуоресцентными молекулами и различными факторами, влияющими на фотосинтетическую активность [42–45].

qP — коэффициент фотохимического тушения флуоресценции Chl, позволяет оценить эффективность фотохимических процессов, происходящих в фотосистеме, и служит индикатором состояния фотосинтетической активности, отражая баланс между открытыми и закрытыми центрами, что влияет на общую продуктивность фотосинтеза [46].

Контроль за процессом возбуждения и регистрации флуоресценции, а также оценку полученных количественных параметров индукционных кривых осуществляли с помощью полнофункционального программного обеспечения WinContro.

Статистическую обработку данных проводили с использованием стандартного пакета программы Microsoft Excel 2023. Статистически верными считались различия показателей при доверительном уровне $p \leq 0,05$.

Результаты и обсуждение

На основании экспериментальных данных установлено, что у деревьев всех категорий санитарного состояния различий в показателе ETR (рис. 1–3) между елью и пихтой не наблюдается. Однако в целом с ухудшением санитарного состояния деревьев значение ETR демонстрирует тенденцию к снижению, что свидетельствует о снижении эффективности их фотосинтетической активности. У деревьев 4-й категории санитарного состояния отмечается значительный разброс показателей ETR для отдельных экземпляров, что подчеркивает важность учета индивидуальных особенностей состояния деревьев. Эти различия могут быть обусловлены как генетическими факторами, так и специфическими условиями мест обитания, которые влияют на фотосинтетические процессы и общее состояние деревьев.

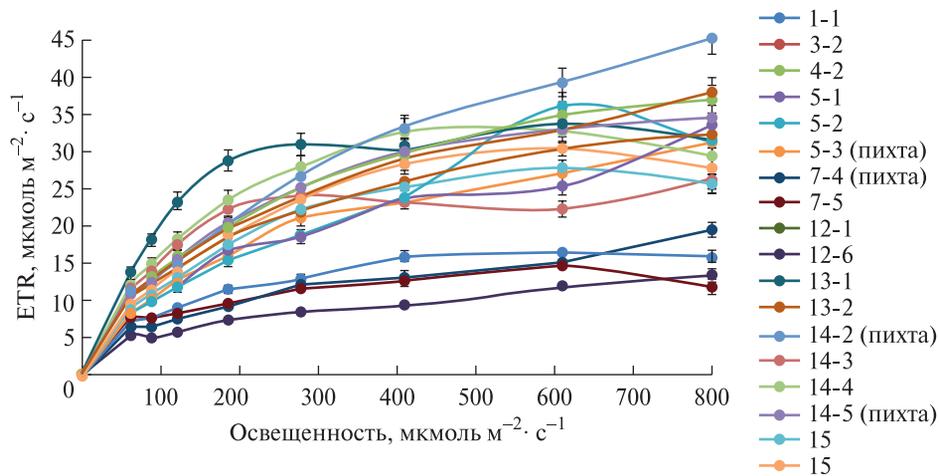


Рис. 1. Показатели ETR у деревьев 1–2 категорий санитарного состояния
Fig. 1. ETR values for trees in Sanitary Condition Categories 1–2

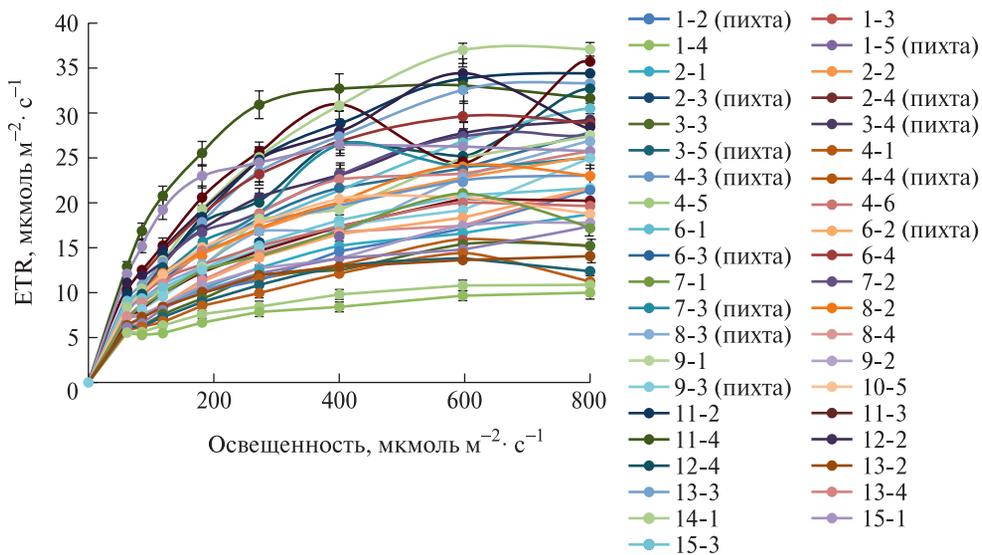


Рис. 2. Показатели ETR у деревьев 3-й категории санитарного состояния
Fig. 2. ETR values for trees in Sanitary Condition Category 3

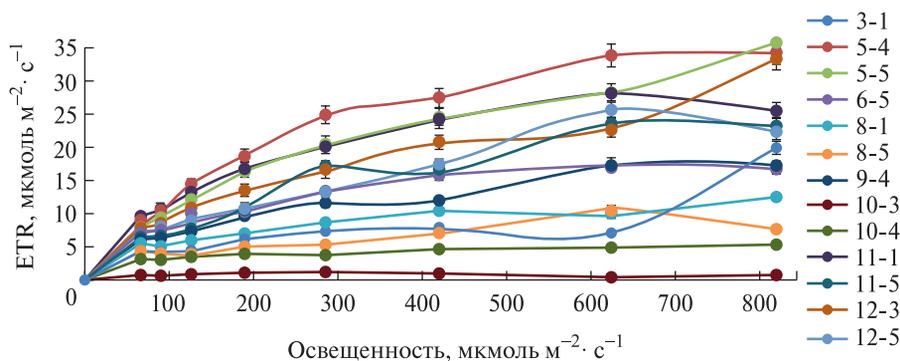


Рис. 3. Показатели ETR у деревьев 4-й категории санитарного состояния
Fig. 3. ETR values for trees in Sanitary Condition Category 4

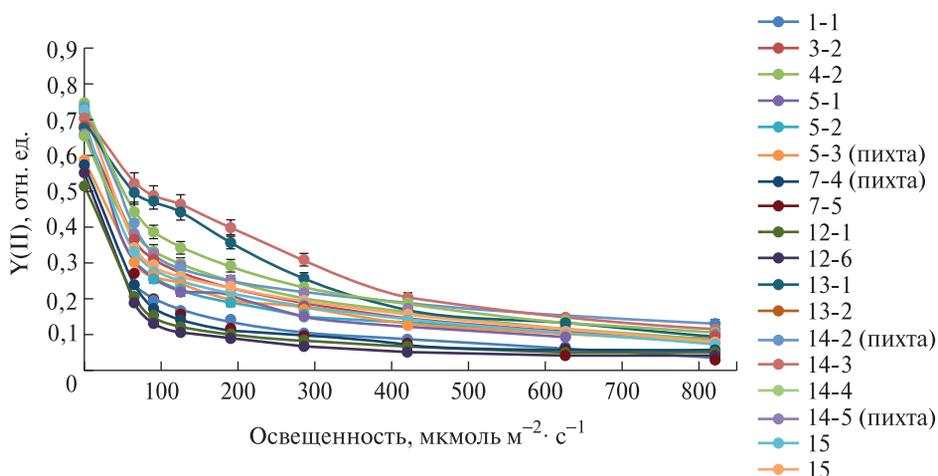


Рис. 4. Показатели Y(II) у деревьев 1–2-й категорий санитарного состояния
Fig. 4. Y(II) values for trees in Sanitary Condition Categories 1–2

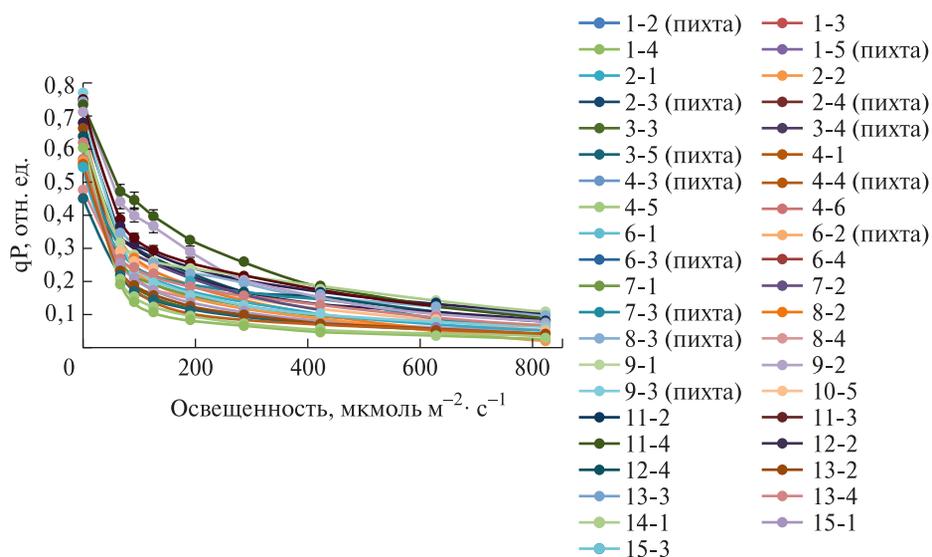


Рис. 5. Показатели Y(II) у деревьев 3-й категории санитарного состояния
Fig. 5. Y(II) values for trees in Sanitary Condition Category 3

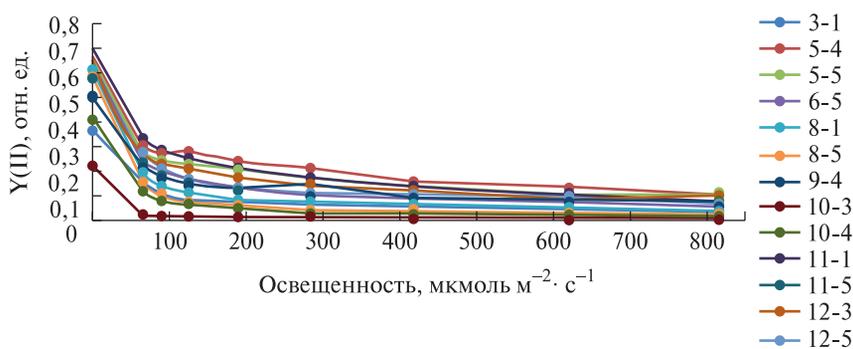


Рис. 6. Показатели Y(II) у деревьев 4-й категории санитарного состояния
Fig. 6. Y(II) values for trees in Sanitary Condition Category 4

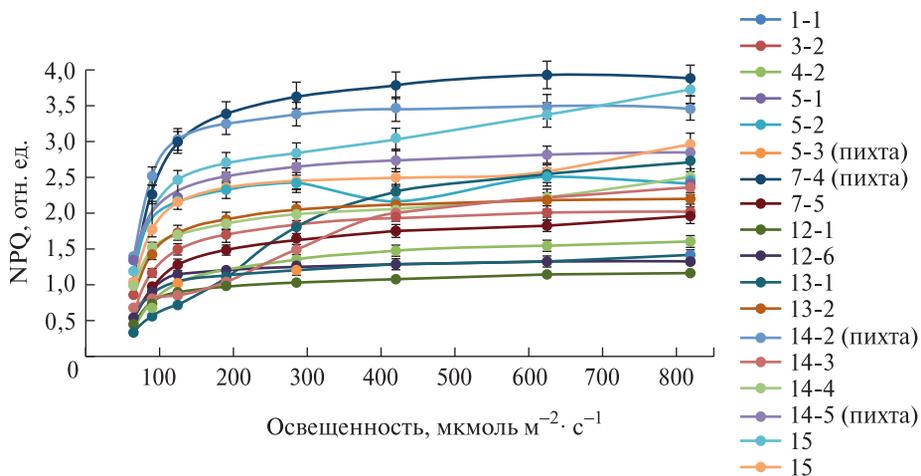


Рис. 7. Показатели NPQ у деревьев 1–2-й категорий санитарного состояния
 Fig. 7. NPQ values for trees in Sanitary Condition Categories 1–2

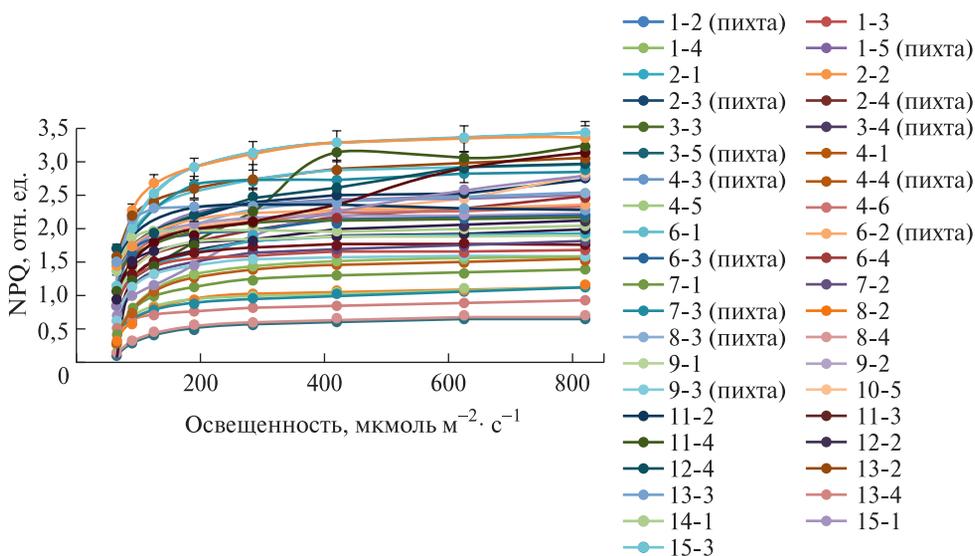


Рис. 8. Показатели NPQ у деревьев 3-й категории санитарного состояния
 Fig. 8. NPQ values for trees in Sanitary Condition Category 3

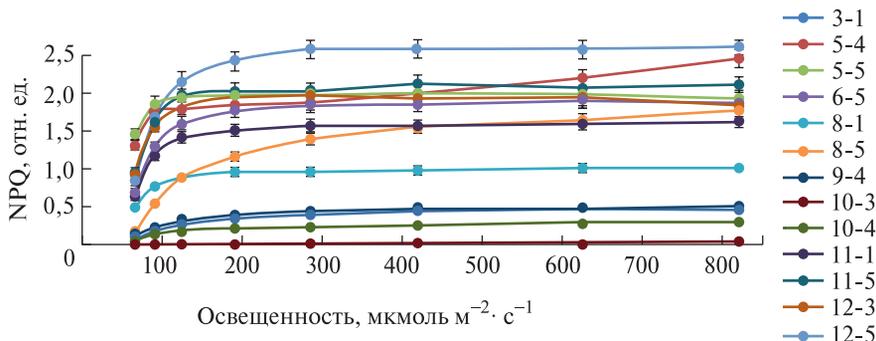


Рис. 9. Показатели NPQ у деревьев 4-й категории санитарного состояния
 Fig. 9. NPQ values for trees in Sanitary Condition Category 4

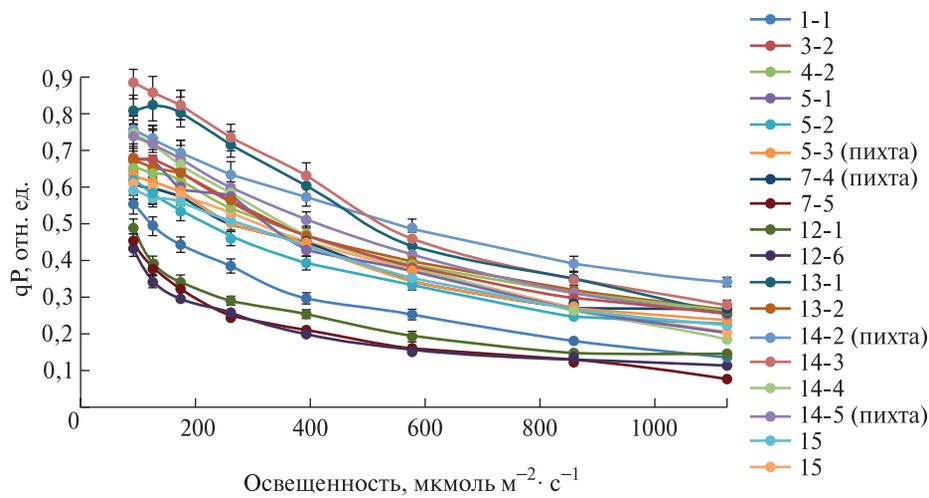


Рис. 10. Показатели qP у деревьев 1–2-й категорий санитарного состояния
 Fig. 10. qP indicators for trees in sanitary condition categories 1–2

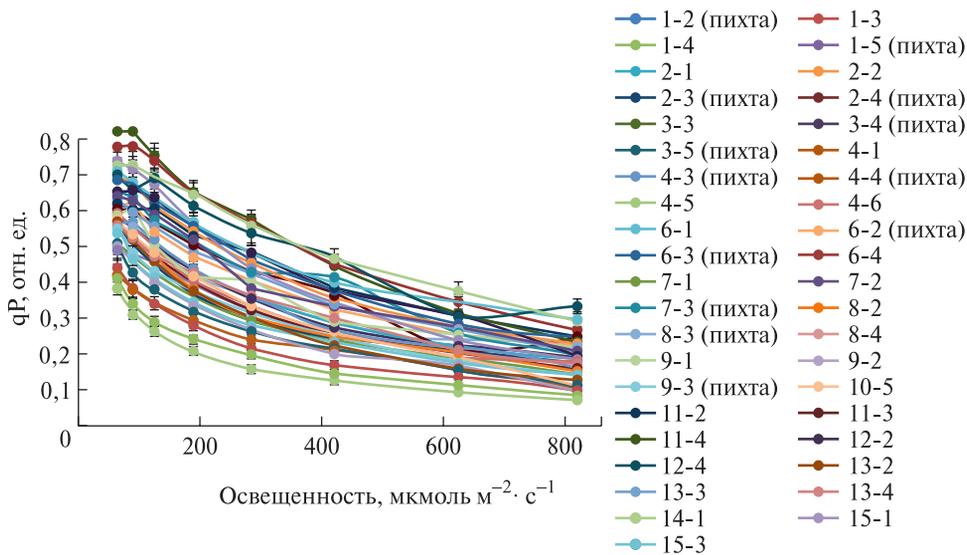


Рис. 11. Показатели qP у деревьев 3-й категории санитарного состояния
 Fig. 11. qP indicators for trees in sanitary condition category 3

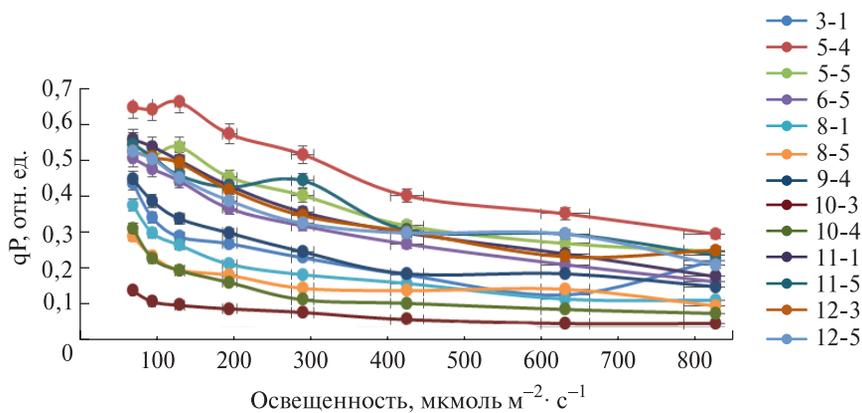


Рис. 12. Показатели qP у деревьев 4-й категории санитарного состояния
 Fig. 12. qP indicators for trees in sanitary condition category 4

Таким образом, мониторинг показателя ETR является важным инструментом для оценки состояния лесных экосистем и выявления индивидуальных реакций деревьев на стрессовые факторы.

В целом отмечается, что с ухудшением санитарного состояния деревьев показатель $Y(II)$ (рис. 4–6) также имеет тенденцию к снижению. У отдельных образцов, относящихся к деревьям 4-й категории санитарного состояния, значение показателя $Y(II)$ может приближаться к нулю или достигает этого значения, что указывает на значительное снижение фотосинтетической активности и, возможно, свидетельствует о критическом состоянии фотосинтетического аппарата растений как тревожном сигнале о состоянии фотосинтетической активности этих деревьев. Такое снижение может свидетельствовать о серьезных нарушениях в функционировании фотосистемы. Снижение показателя $Y(II)$ служит индикатором не только физиологического состояния деревьев, но и их общей адаптивной способности к стрессовым условиям окружающей среды. У деревьев всех категорий санитарного состояния по показателю $Y(II)$ различий между елью и пихтой не установлено.

В целом по мере ухудшения санитарного состояния деревьев наблюдается тенденция к снижению показателя NPQ (рис. 7–9). У отдельных образцов, относящихся к деревьям 4-й категории санитарного состояния, уровень NPQ приближается или равен нулю. Это указывает на снижение способности деревьев эффективно рассеивать избыточное световое возбуждение, что может приводить к повреждению фотосинтетических структур. Пониженный уровень NPQ свидетельствует о снижении защитных механизмов у деревьев, ослаблении их общего состояния и адаптивной способности к стрессовым воздействиям. Значения параметра NPQ для деревьев, относящихся к 1-й, 2-й и 3-й категориям санитарного состояния, находятся в широком диапазоне, поскольку особи демонстрируют разнообразные уровни адаптации и физиологических реакций на окружающие условия. Деревья 1-й категории, имеющие оптимальные условия роста, способны эффективно регулировать фотосинтетические процессы и рассеивать избыточное световое возбуждение через механизмы нефотохимического тушения, что отражается в высоких значениях показателя NPQ. В то же время деревья 2-й и 3-й категорий могут испытывать стресс, связанный с различными факторами, такими как недостаток влаги, болезни или повреждения, что может либо увеличивать, либо снижать уровень показателя NPQ в зависимости от выраженности стресса и адаптивных механизмов,

задействованных у деревьев. Так, более стрессовые условия могут увеличивать значения показателя NPQ как защитную реакцию, тогда как в условиях серьезных повреждений или деградации механизмы рассеивания энергии могут ослабевать, что приводит к снижению этого показателя. Широкий диапазон значений показателя NPQ у деревьев 1-й, 2-й и 3-й категорий санитарного состояния указывает на сложные взаимодействия между фотосинтетической активностью, стрессом и адаптивными механизмами, которые следует учитывать при интерпретации данных о санитарном состоянии деревьев и лесных экосистем в целом.

У деревьев всех категорий санитарного состояния по показателю NPQ различий между елью и пихтой не установлено.

В целом с ухудшением санитарного состояния деревьев наблюдается тенденция к снижению показателя qP (рис. 10–12).

У деревьев 4-й категории санитарного состояния фиксируется широкий спектр значений этого показателя, что отражает индивидуальные особенности состояния деревьев и адаптивной способности каждого растения. У некоторых образцов значение показателя qP было близко к нулю или даже равно ему, что указывает на значительное ослабление фотосинтетической активности и нарушение механизмов сбора энергии для фотосинтеза. В свою очередь высокие значения показателя qP отражают эффективную фотосинтетическую активность деревьев. Это указывает на то, что большая часть захваченной световой энергии используется для фотохимических процессов, таких как преобразование световой энергии в химическую в процессе фотосинтеза.

Выводы

Полученные данные целесообразно использовать в работе по контролю за состоянием древостоев как естественного, так и искусственного происхождения. Результаты исследований имеют практическое значение при планировании работ по охране сохранившихся природных экосистем и реликтовых ландшафтов, лесовосстановлению, лесоразведению, биозащите окружающей среды и агролесомелиорации, эколого-защитному озеленению населенных пунктов и развитию садово-паркового хозяйства. А также они могут быть востребованы для организации мониторинга древостоев на ряде территорий с промышленным лесопользованием, в том числе на основе учета и коррекции параметров ассимиляционных систем и прочих биологических признаков рассмотренных видов.

Показатели ETR, Y(II), NPQ и qP у деревьев отражают их индивидуальное состояние. У деревьев 4-й категории санитарного состояния они значительно снижаются по сравнению с деревьями более высоких категорий санитарного состояния, показатель qP равен нулю или около нуля.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-76-10057, <https://rscf.ru/project/24-76-10057/>

Список литературы

- [1] Maxwell K., Johnson G.N. Chlorophyll fluorescence – a practical guide // *J. of Experimental Botany*, 2000, no. 51 (345), pp. 659–668.
- [2] Ведерников К.Е., Бухарина И.Л. Особенности видового состава нарушенных еловых экосистем // Проблемы популяционной биологии: материалы XIII Всероссийского Популяционного семинара с междунар. участием памяти Н.В. Глотова (к 85-летию со дня рождения), Уфа, 9–11 апреля 2024 г. Уфа: Аэтерна, 2024. С. 91–97.
- [3] Губанова Т.Б., Пилькевич Р.А., Харченко А.А., Бернацкий И.В. Валерьевич Влияние засухи на состояние фотосинтетического аппарата некоторых сортов *Ficus carica* // *Биология растений и садоводство: теория, инновации*, 2019. № 151. С. 109–119.
- [4] Платовский Н., Здиорук Н., Раля Т. Применение метода флуориметрии для оценки первичной теплоустойчивости флаговых листьев гексаплоидной пшеницы в зависимости от температуры теплового шока // *Buletinul AŞM. Ştiinţele vieţii. Fiziologia şi Biochimia Plantelor*, 2020, no. 2(341), pp. 67–72.
- [5] Кунина В.А. Использование хлорофилл-флуоресценции для диагностики функционального состояния растений (литературный обзор) // *Субтропическое и декоративное садоводство*, 2022. № 83. С. 157–166. DOI: 10.31360/2225-3068-2022-83-167-180
- [6] Шулико Н.Н., Юсова О.А., Киселёва А.А., Кубасова Е.В., Тукмачева Е.В., Юсов В.С. Применение хлорофилл-флуоресценции для диагностики функционального состояния растений яровой пшеницы при создании ризосферной азотфиксирующей ассоциации // *Агрофизика*, 2024. № 3. С. 35–47
- [7] Пиняскина Е.В., Маммаев А.Т. Изучение параметров фотосинтетической активности растений в зависимости от вертикальной поясности // *Известия Самарского научного центра РАН*, 2014. № 1–3. С. 788–791.
- [8] Forzieri G., Dakos V., McDowell N.G., Alkama R., Cescatti A. Emerging signals of declining forest resilience under climate change // *Nature*, 2022, v. 608 (7923), pp. 534–539. DOI: 10.1038/s41586-022-05071-9
- [9] Constandache C., Tudor C., Aga V., Popovici L. Ecological restoration of Norway spruce stands affected by drying from outside the natural range // *Scientific Papers. Series E. Land Reclamation, Earth Observation & Surveying, Environmental Engineering*, 2024, v. XIII, pp. 60–66.
- [10] Patassa M., Lindner M., Lucas-Borja M.E. Significant increase in natural disturbance impacts on European forests since 1950 // *Global Change Biology*, 2023, v. 29(5), pp. 1359–1376. DOI:0.1111/gcb.16531
- [11] Vedernikov K.E., Bukharina I.L., Udalov D.N., Pashkova A.S., Larionov M.V., Mazina S.E., Galieva A.R. The State of Dark Coniferous Forests on the East European Plain Due to Climate Change // *Life*, 2022, v. 12, no. 11, p. 1874.
- [12] Шмакова Н.Ю., Марковская Е.Ф., Ермолаева О.В., Морозова К.В. Фотосинтетический аппарат *Taraxacum arcticum* и *Taraxacum officinale* (Asteraceae) на Западном Шпицбергене // *Ботанический журнал*, 2021. Т. 106. № 7. С. 676–682.
- [13] Kalaji H.M., Jajoo A., Oukarroum A., Brestic M., Zivcak M., Samborska I., Cetner M.D., Goltsev V., Ladle R.J., Dąbrowski P., Ahmad P. The Use of Chlorophyll Fluorescence Kinetics Analysis to Study the Performance of Photosynthetic Machinery in Plants // *Emerging Technologies and Management of Crop Stress Tolerance*, 2014, v. 2, pp. 347–385.
- [14] Makarenko M.S., Kozel N.V., Usatov A.V., Gorbachenko O.F., Averina N.G. A state of PSI and PSII photochemistry of sunflower yellow-green plastome mutant // *Online J. of Biological Sciences*, 2016, v. 16, no. 4, pp. 193–198.
- [15] Matuszyńska A., Saadat N.P., Ebenhöf O. Balancing energy supply during photosynthesis – a theoretical perspective // *Physiologia Plantarum*, 2019, v. 166, no. 1, pp. 392–402.
- [16] Сухова Е.М., Воденев В.А., Сухов В.С. Математическое моделирование фотосинтеза и анализ продуктивности растений // *Биологические мембраны*, 2021. Т. 38. № 1. С. 20–43.
- [17] Govindjee Photosystem II heterogeneity: the acceptor side // *Photosynth. Res.* 1990, v. 25, no. 3, pp. 151–160.
- [18] Смоликова Г.Н., Лебедев В.Н., Лопатов В.Е., Тимошук В.А., Медведев С.С. Динамика фотохимической активности фотосистемы II при формировании семян *Brassica nigra* L. // *Вестник Санкт-Петербургского Университета. Серия 3: Биология*, 2015. № 3. С. 53–65.
- [19] Шимкевич А.М., Макаров В.Н., Голоенко И.М., Давыденко О.Г. Функциональное состояние фотосинтетического аппарата у аллоплазматических линий ячменя // *Экологическая генетика*, 2006. Т. IV. № 2. С. 37–42.
- [20] Гаевский Н.А., Моргун В.Н. Использование перенной и замедленной флуоресценции хлорофилла для изучения фотосинтеза растений // *Физиология растений*, 2007. Т. 40. С. 136–145.
- [21] Кабашникова Л.Ф., Доманская И.Н., Пашкевич Л.В., Дремук И.А., Мартысюк А.В., Молчан О.В. Влияние интенсивности света и его спектрального состава на фотосинтетическую активность огурца *Cucumis sativus* при фузариозном заражении // *Экспериментальная биология и биотехнология*, 2022. № 3. С. 39–52.
- [22] Овсянников А.Ю. Сезонная структурно-функциональная трансформация фотосинтетического аппарата хвой *Picea pungens* Engl. и *P. obovata* Ledeb. на территории ботанического сада УРО РАН (г. Екатеринбург): дис. ... канд. биол. наук: 03.02.08. Екатеринбург, 2015. 148 с.
- [23] Андреев В.П., Плахотская Ж.В. Действие пресной воды на параметры индукции флуоресценции представителей рода *Fucus* в условиях Белого моря // *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*, 2017. Т. 7. № 3. С. 75–83.

- [24] Baker N.R., Rosenqvist E. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: An examination of future possibilities // *J. of Experimental Botany*, 2004, v. 55, pp. 1607–1621.
- [25] Holzwarth A.R., Lenk D., Jahns P. On the analysis of non-photochemical chlorophyll fluorescence quenching curves I. Theoretical considerations // *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Bioenergetics*, 2013, v. 1827, pp. 786–792.
- [26] Данилова Е.Д., Ефимова М.В., Коломейчук Л.В., Кузнецов В.В. Мелатонин поддерживает фотохимическую активность ассимиляционного аппарата и замедляет старение листьев однодольных растений // *Доклады Российской академии наук. Науки о жизни*, 2020. Т. 495. № 1. С. 545–550.
- [27] Пахарькова Н.В., Масенцова И.В., Гетте И.Г., Позднякова Е.Е., Калабина А.А. Фотосинтетический аппарат хвои сосны сибирской кедровой в период выхода из состояния зимнего покоя в условиях высотной поясности Западного Саяна // *ИзВУЗ Лесной журнал*, 2024. № 2. С. 41–49.
- [28] Kalaji H.M., Schansker G., Ladle R.J., Goltsev V., Bosa K., Allakhverdiev S.I., Brestic M., Bussotti F., Calatayud A., Dąbrowski P., Elsheery N.I., Ferroni L., Guidi L., Hogewoning S.W., Jajoo A., Misra A.N., Nebauer S.G., Pancaldi S., Penella C., DorothyBelle P., Pollastrini M., Romanowska-Duda Z.B., Rutkowska B., Serodio J., Suresh K., Szulc W., Tambussi E., Yannicari M., Zivcak M. Frequently asked questions about in vivo chlorophyll fluorescence: practical issues // *Photosynth Research*, 2014, v. 122, pp. 121–158.
- [29] Lichtenthaler H.K., Buschmann C. and Knapp M. How to Correctly Determine the Different Chlorophyll Fluorescence Parameters and the Chlorophyll Fluorescence Decrease Ratio R_{Fd} of Leaves with the PAM Fluorometer. *Photosynthetica* // *Photosynthetica*, 2005, no. 43 (3), pp. 379–393.
- [30] Hua W., Zhu J., Shang Y., Wang J., Jia Q., Yang J. Identification of suitable reference genes for barley gene expression under abiotic stresses and hormonal treatments // *Plant Molecular Biology Reporter*, 2015, v. 33, pp. 1002–1012.
- [31] Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 18 августа 2014 г. № 367 «Об утверждении Перечня лесорастительных зон Российской Федерации и Перечня лесных районов Российской Федерации». URL: <https://docs.cntd.ru/document/420224339> (дата обращения 20.11.2024).
- [32] Постановление Правительства Российской Федерации от 20 мая 2017 г. № 607 «Об утверждении Правил санитарной безопасности в лесах». URL: <http://docs.cntd.ru/document/436736467> (дата обращения 20.11.2024).
- [33] Постановление Правительства Российской Федерации от 28 июля 2020 г. № 132 «О признании утратившими силу некоторых актов и отдельных положений некоторых актов Правительства Российской Федерации и об отмене некоторых актов федеральных органов исполнительной власти, содержащих обязательные требования, соблюдение которых оценивается при проведении мероприятий по контролю при осуществлении федерального государственного лесного надзора (лесной охраны), федерального государственного пожарного надзора в лесах и государственного надзора в области семеноводства в отношении семян лесных растений». URL: https://docs.cntd.ru/document/565438868?mark_er=65A0IQ (дата обращения 14.11.2024).
- [34] Лескинен П., Линднер М., Веркерк П.Й., Набуурс Г.Я., Ван Брусселен Й., Куликова Е., Хассегава М., Леринк Б. Леса России и изменение климата // *Что нам может сказать наука*, 2020. 142 с. DOI: <https://doi.org/10.36333/wsctu11>.
- [35] Thorn S., Seibold S., Leverkus A.B., Michler T., Müller J., Noss R.F., Stork N., Vogel S., Lindenmayer D.B. The living dead: acknowledging life after tree death to stop forest degradation // *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2020, v. 18 (9), pp. 505–512. DOI: 10.1002/fee.2252
- [36] Иванчина Л.А., Большаков Е.Г. Влияние усыхания на изреживание еловых древостоев и на изменение породного состава лесных насаждений Пермского края // *Лесотехнический журнал*, 2024. Т. 14. № 4 (56). С. 6–21. DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2024.4/1>
- [37] Burton P.J., Jentsch A., Walker L.R. The Ecology of Disturbance Interactions // *BioScience*, 2020, v. 70, no. 10, pp. 854–870. DOI: 10.1093/biosci/biaa088
- [38] Leverkus A.B., Buma B., Wagenbrenner J., Burton P.J., Lingua E., Marzano R., Thorn S. Tamm review: Does salvage logging mitigate subsequent forest disturbances? // *Forest Ecology and Management*, 2021, v. 481, p. 118721. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118721>
- [39] Теринов Н.Н., Андреева Е.М., Залесов С.В., Луганский Н.А., Магасумова А.Г. Восстановление еловых лесов: теория, отечественный опыт и методы решения // *Изв. вузов. Лесной журнал*, 2020. № 3. С. 9–23. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-3-9-23
- [40] Andreev V.P., Maslov Yu.I., Sorokoletova E.F. Functional properties of photosynthetic apparatus in three *Fucus* species inhabiting the White sea: effect of dehydration. *Fiziologiya rastenii* // *Russian J. of Plant Physiology*, 2012, v. 59, no. 2, pp. 244–250.
- [41] Junior-PAM Chlorophyll Fluorometer: Operator's Guide. Ed. by E. Pfündel. Germany: Heinz Walz GmbH, 2007, 58 p.
- [42] Гольцев В.Н., Каладжи Х.М., Паунов М., Баба В., Хорачек Т., Мойский Я., Коцел Х., Аллахвердиев С.И. Использование переменной флуоресценции хлорофилла для оценки физиологического состояния фотосинтетического аппарата растений // *Физиология растений*, 2016. Т. 63. № 6. С. 881–907.
- [43] Доманский В.П. Дистанционное измерение параметров переменной флуоресценции растительных объектов // *Журнал прикладной спектроскопии*, 2018. Т. 85. № 3. С. 480–485.
- [44] Зулфугаров И.С., Пашаева А., Охлопкова Ж.М., Чун-Хван Ли. Практическое руководство по измерению уровня флуоресценции хлорофилла в растениях и расчету основных параметров флуоресценции хлорофилла // *Вестник СВФУ*, 2018. № 2 (64). С. 35–44.
- [45] Zaks J., Amarnath K., Kramer D.M., Niyogi K.K., Fleming G.R. A kinetic model of rapidly reversible nonphotochemical quenching // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 2012, v. 109, no. 39, pp. 15757–15762.
- [46] Makarenko M.S., Kozel N.V., Usatov A.V., Gorbachenko O.F., Averina N.G. A State of PSI and PSII Photochemistry of Sunflower Yellow-Green Plastome Mutant // *OnLine J. of Biological Sciences*, 2016, no. 16 (4), pp. 193–198.

Сведения об авторах

Бухарина Ирина Леонидовна[✉] — д-р биол. наук, профессор, директор Института гражданской защиты, ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет», г. Ижевск, Почетный работник сферы образования РФ, buharin@udmlink.ru

Ларионов Максим Викторович — д-р биол. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)», г. Москва; профессор, Государственный университет управления, г. Москва, m.larionow2014@yandex.ru

Пашкова Анна Сергеевна — канд. биол. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет», elena7108@yandex.ru

Ведерников Константин Евгеньевич — канд. биол. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет», wke-les@rambler.ru

Белеля Александра Сергеевна — аспирант, ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет», alex.belelya@gmail.com

Поступила в редакцию 16.04.2025.

Одобрено после рецензирования 23.07.2025.

Принята к публикации 31.08.2025.

PHOTOSYNTHETIC ACTIVITY ANALYSIS FOR PICEA AND ABIES OF DIFFERENT SANITARY CONDITIONS

I.L. Bukharina^{1✉}, **M.V. Larionov**², **A.S. Pashkova**¹,
K.E. Vedernikov¹, **A.S. Belelia**¹

¹Udmurt State University, 1/1, Universitetskaya st., 426034, Izhevsk, Udmurtia, Russia

²Russian Biotechnological University (ROСБИОТЕСН University), 33, Talalikhina st., 109316, Moscow, Russia

buharin@udmlink.ru

Photosynthesis is the process that provides a plant cell with energy, therefore, the preservation of photosynthetic activity under conditions of physiological stress largely determines the plant's resistance to adverse environmental factors. The improvement of methods that make it possible to monitor changes in the state of the photosynthetic apparatus is of both theoretical and practical importance. Photosynthetic processes were studied by pulse-amplitude fluorimetry using the WALZ JUNIOR-PAM instrument in coniferous trees (spruce and fir) of different health categories growing in the Perm region of Russia. The measurements carried out using the PAM fluorimeter consist of three components: measuring light, actinic light and saturation pulses. Photosynthetic activity is induced by actinic light, and saturation pulses are used to determine the maximum fluorescence output. The third component, modulated measuring light, does not cause photosynthesis by itself, but measures/observes changes in (fluorescent) output. The fluorometer registers only the fluorescence reaction caused by modulated light. The study assessed the effective quantum yield of Y(II), the electron transport density along the electron transport chain of thylakoid membranes (ETR), the non-photochemical quenching of chlorophyll fluorescence (NPQ), and the coefficient of photochemical quenching of chlorophyll fluorescence (qP). It was found that the ETR, Y(II), NPQ, and qP indices in trees reflect their individual condition. In trees of the 4th category of sanitary condition, these indices are significantly lower than in trees of higher categories, and the qP index is zero or close to zero.

Keywords: photosynthesis, productivity, test plots, fluorimetry, sanitary condition of trees, bioindication

Suggested citation: Bukharina I.L., Larionov M.V., Pashkova A.S., Vedernikov K.E., Belelya A.S. *Analiz pokazateley fotosinteticheskoy produktivnosti u derev'ev eli i pikhty, poluchennykh metodom pul's-amplitudnoy fluorimetrii* [Photosynthetic activity analysis for Picea and Abies of different sanitary conditions]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2025, vol. 29, no. 5, pp. 120–135. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-5-120-135

References

- [1] Maxwell K., Johnson G.N. Chlorophyll fluorescence – a practical guide. *Journal of Experimental Botany*, 2000, no. 51 (345), pp. 659–668.
- [2] Vedernikov K.E., Bukharina I.L. *Osobennosti vidovogo sostava narushennykh elovykh ekosistem* [Species composition of disturbed spruce ecosystems]. *Problemy populyatsionnoy biologii: materialy XIII Vserossiyskogo Populyatsionnogo seminar s mezhdunar. uchastiem pamyati N. V. Glotova (k 85-letiyu so dnya rozhdeniya)* [Problems of Population Biology: Proceedings of the XIII All-Russian Population Seminar with international participation in memory of N.V. Glotov (on his 85th anniversary)]. Ufa, April 9–11, 2024. Ufa: Aeterna, 2024, pp. 91–97.

- [3] Gubanova T.B., Pil'kevich R.A., Kharchenko A.A., Bernatskiy I.V. *Vliyaniye zasukhi na sostoyaniye fotosinteticheskogo apparata nekotorykh sortov Ficus carica* [Effect of drought on the state of photosynthetic apparatus of some *Ficus carica* cultivars]. *Biologiya rasteniy i sadovodstvo: teoriya, innovatsii* [Plant Biology and Horticulture: Theory, Innovations], 2019, no. 151, pp. 109–119.
- [4] Platovskiy N., Zdioruk N., Ralya T. *Primeneniye metoda fluorimetrii dlya otsenki pervichnoy teploustoychivosti flagovykh list'ev geksaploidnoy pshenitsy v zavisimosti ot temperatury teplovogo shoka* [Application of the fluorimetry method to assess the primary heat resistance of hexaploid wheat flag leaves depending on the heat shock temperature]. *Buletinul AŞM. Ştiinţele vieţii. Fiziologia şi Biochimia Plantelor*, 2020, no. 2(341), pp. 67–72.
- [5] Kunina V.A. *Ispol'zovaniye khlorofill-fluorestsentsii dlya diagnostiki funktsional'nogo sostoyaniya rasteniy (literaturnyy obzor)* [Use of chlorophyll fluorescence for diagnostics of the functional state of plants (literature review)]. *Subtropicheskoe i dekorativnoe sadovodstvo* [Subtropical and ornamental gardening], 2022, no. 83, pp. 157–166. DOI: 10.31360/2225-3068-2022-83-167-180
- [6] Shuliko N.N., Yusova O.A., Kiseleva A.A., Kubasova E.V., Tukmacheva E.V., Yusov V.S. *Primeneniye khlorofill-fluorestsentsii dlya diagnostiki funktsional'nogo sostoyaniya rasteniy yarovoy pshenitsy pri sozdanii rizosfernoy azotfiksiruyushchey assotsiatsii* [Application of chlorophyll fluorescence for diagnostics of functional state of spring wheat plants during creation of rhizosphere nitrogen-fixing association]. *Agrofizika* [Agrophysics], 2024, no. 3, pp. 35–47.
- [7] Pinyaskina E.V., Mammaev A.T. *Izuchenie parametrov fotosinteticheskoy aktivnosti rasteniy v zavisimosti ot vertikal'noy poyasnosti* [Study of photosynthetic activity parameters of plants depending on vertical zonality]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN* [Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2014, no. 1–3, pp. 788–791.
- [8] Forzieri G., Dakos V., McDowell N.G., Alkama R., Cescatti A. Emerging signals of declining forest resilience under climate change. *Nature*, 2022, v. 608 (7923), pp. 534–539. DOI: 10.1038/s41586-022-05071-9
- [9] Constandache C., Tudor C., Aga V., Popovici L. Ecological restoration of Norway spruce stands affected by drying from outside the natural range. *Scientific Papers. Series E. Land Reclamation, Earth Observation & Surveying, Environmental Engineering*, 2024, v. XIII, pp. 60–66.
- [10] Patacca M., Lindner M., Lucas-Borja M.E. Significant increase in natural disturbance impacts on Euro-pean forests since 1950. *Global Change Biology*, 2023, v. 29(5), pp. 1359–1376. DOI:0.1111/gcb.16531
- [11] Vedernikov K.E., Bukharina I.L., Udalov D.N., Pashkova A.S., Larionov M.V., Mazina S.E., Galieva A.R. The State of Dark Coniferous Forests on the East European Plain Due to Climate Change. *Life*, 2022, v. 12, no. 11, p. 1874.
- [12] Shmakova N.Yu., Markovskaya E.F., Ermolaeva O.V., Morozova K.V. *Fotosinteticheskiy apparat Taraxacum arcticum i Taraxacum officinale (Asteraceae) na Zapadnom Shpitsbergene* [Photosynthetic apparatus of *Taraxacum arcticum* and *Taraxacum officinale* (Asteraceae) in Western Svalbard]. *Botanicheskiy zhurnal* [Botanical Journal], 2021, v. 106, no. 7, pp. 676–682.
- [13] Kalaji H.M., Jajoo A., Oukarroum A., Brestic M., Zivcak M., Samborska I., Cetner M.D., Goltsev V., Ladle R.J., Dąbrowski P., Ahmad P. The Use of Chlorophyll Fluorescence Kinetics Analysis to Study the Performance of Photosynthetic Machinery in Plants. *Emerging Technologies and Management of Crop Stress Tolerance*, 2014, v. 2, pp. 347–385.
- [14] Makarenko M.S., Kozel N.V., Usatov A.V., Gorbachenko O.F., Averina N.G. A state of PSI and PSII photochemistry of sunflower yellow-green plastome mutant. *Online J. of Biological Sciences*, 2016, v. 16, no. 4, pp. 193–198.
- [15] Matuszyńska A., Saadat N.P., Ebenhöf O. Balancing energy supply during photosynthesis – a theoretical perspective. *Physiologia Plantarum*, 2019, v. 166, no. 1, pp. 392–402.
- [16] Sukhova E.M., Vodenev V.A., Sukhov V.S. *Matematicheskoe modelirovaniye fotosinteza i analiz produktivnosti rasteniy* [Mathematical modeling of photosynthesis and analysis of plant productivity]. *Biologicheskie membrany* [Biological membranes], 2021, v. 38, no. 1, pp. 20–43.
- [17] Govindjee Photosystem II heterogeneity: the acceptor side. *Photosynth. Res.* 1990, v. 25, no. 3, pp. 151–160.
- [18] Smolikova G.N., Lebedev V.N., Lopatov V.E., Timoshchuk V.A., Medvedev S.S. *Dinamika fotokhimicheskoy aktivnosti fotosistemy II pri formirovaniy semyan Brassica nigra L.* [Dynamics of photochemical activity of photosystem II during seed formation of *Brassica nigra* L.]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo Universiteta. Seriya 3: Biologiya* [Bulletin of St. Petersburg University. Series 3: Biology], 2015, no. 3, pp. 53–65.
- [19] Shimkevich A.M., Makarov V.N., Goloenko I.M., Davydenko O.G. *Funktsional'noe sostoyaniye fotosinteticheskogo apparata u alloplazmaticheskikh liniy yachmenya* [Functional state of photosynthetic apparatus in alloplasmic lines of barley]. *Ekologicheskaya genetika* [Ecological Genetics], 2006, v. IV, no. 2, pp. 37–42.
- [20] Gayevskiy N.A., Morgun V.N. The use of variable and delayed chlorophyll fluorescence for studying plant photosynthesis. *Plant Physiology*, 2007, v. 40, pp. 136–145.
- [21] Kabashnikova L.F., Domanskaya I.N., Pashkevich L.V., Dremuk I.A., Martysyuk A.V., Molchan O.V. *Vliyaniye intensivnosti sveta i ego spektral'nogo sostava na fotosinteticheskuyu aktivnost' ogurtsa Cucumis sativus pri fuzarioznom zarazhenii* [Effect of light intensity and its spectral composition on photosynthetic activity of cucumber *Cucumis sativus* under *Fusarium* infestation]. *Ekspierimental'naya biologiya i biotekhnologiya* [Experimental Biology and Biotechnology], 2022, no. 3, pp. 39–52.
- [22] Ovsyannikov A.Yu. *Sezonnaya strukturno-funktsional'naya transformatsiya fotosinteticheskogo apparata khvoi Picea pungens Engl. i P. obovata Ledeb. na territorii botanicheskogo sada URO RAN (g. Ekaterinburg)* [Seasonal structural and functional transformation of the photosynthetic apparatus of the needles of *Picea pungens* Engl. and *P. obovata* Ledeb. on the territory of the botanical garden of the URO RAS (Ekaterinburg)]. *Dis. Cand. Sci. (Biol.)* 03.02.08. Ekaterinburg, 2015, 148 p.

- [23] Andreev V.P., Plakhotskaya Zh.V. *Deystvie presnoy vody na parametry induktsii fluorestsentsii predstaviteley roda Fucus v usloviyakh Belogo morya* [The effect of fresh water on the parameters of fluorescence induction of representatives of the genus Fucus in the White Sea]. *Izvestiya vuzov. Prikladnaya khimiya i biotekhnologiya* [Izvestiya Vuzov. Applied chemistry and biotechnology], 2017, v. 7, no. 3, pp. 75–83.
- [24] Baker N.R., Rosenqvist E. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: An examination of future possibilities. *J. of Experimental Botany*, 2004, v. 55, pp. 1607–1621.
- [25] Holzwarth A.R., Lenk D., Jahns P. On the analysis of nonphotochemical chlorophyll fluorescence quenching curves I. Theoretical considerations. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA). Bioenergetics*, 2013, v. 1827, pp. 786–792.
- [26] Danilova E.D., Efimova M.V., Kolomeychuk L.V., Kuznetsov V.V. *Melatonin podderzhivaet fotokhimicheskuyu aktivnost' assimilatsionnogo apparata i zamedlyaet starenie list'ev odnodol'nykh rasteniy* [Melatonin supports photochemical activity of the assimilatory apparatus and slows down aging of leaves of monocotyledonous plants]. *Doklady Rossiyskoy akademii nauk. Nauki o zhizni* [Reports of the Russian Academy of Sciences. Life Sciences], 2020, v. 495, no. 1, pp. 545–550.
- [27] Pakhar'kova N.V., Masentsova I.V., Gette I.G., Pozdnyakova E.E., Kalabina A.A. *Fotosinteticheskiy apparat khvoi sosny sibirskoy kedrovoy v period vykhoda iz sostoyaniya zimnego pokoya v usloviyakh vysotnoy poynasnosti Zapadno-goy Sayana* [Photosynthetic apparatus of Siberian pine needles during the period of emergence from the state of winter dormancy in the conditions of altitudinal belt of the Western Sayan]. *Russian Forest J.*, 2024, no. 2, pp. 41–49.
- [28] Kalaji H.M., Schansker G., Ladle R.J., Goltsev V., Bosa K., Allakhverdiev S.I., Brestic M., Bussotti F., Calatayud A., Dąbrowski P., Elsheery N.I., Ferroni L., Guidi L., Hogewoning S.W., Jajoo A., Misra A.N., Nebauer S.G., Pancaldi S., Penella C., DorothyBelle P., Pollastrini M., Romanowska-Duda Z.B., Rutkowska B., Serodio J., Suresh K., Szulc W., Tambussi E., Yannicari M., Zivcak M. Frequently asked questions about in vivo chlorophyll fluorescence: practical issues. *Photosynth Research*, 2014, v. 122, pp. 121–158.
- [29] Lichtenthaler H.K., Buschmann C. and Knapp M. How to Correctly Determine the Different Chlorophyll Fluorescence Parameters and the Chlorophyll Fluorescence Decrease Ratio RfD of Leaves with the PAM Fluorometer. *Photosynthetica*, 2005, no. 43 (3), pp. 379–393.
- [30] Hua W., Zhu J., Shang Y., Wang J., Jia Q., Yang J. Identification of suitable reference genes for barley gene expression under abiotic stresses and hormonal treatments. *Plant Molecular Biology Reporter*, 2015, v. 33, pp. 1002–1012.
- [31] *Prikaz Ministerstva prirodnykh resursov i ekologii Rossiyskoy Federatsii ot 18 avgusta 2014 g. № 367 «Ob utverzhdenii Perechnya lesorastitel'nykh zon Rossiyskoy Federatsii i Perechnya lesnykh rayonov Rossiyskoy Federatsii»* [Order of the Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation dated August 18, 2014 No. 367 «On approval of the List of forest vegetation zones of the Russian Federation and the List of forest regions of the Russian Federation»]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/420224339> (accessed 20.11.2024).
- [32] *Postanovlenie Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 20 maya 2017 g. № 607 «Ob utverzhdenii Pravil sanitarnoy bezopasnosti v lesakh»* [Resolution of the Government of the Russian Federation of May 20, 2017, no. 607 «On Approval of the Rules of Sanitary Safety in Forests»]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/436736467> (accessed 20.11.2024).
- [33] *Postanovlenie Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 28 iyulya 2020 g. № 132 «O priznanii utrativshimi silu nekotorykh aktov i otdel'nykh polozheniy nekotorykh aktov Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii i ob otmene nekotorykh aktov federal'nykh organov ispolnitel'noy vlasti, sodержashchikh obyazatel'nye trebovaniya, soblyudeniye kotorykh otsenivaetsya pri provedenii meropriyatii po kontrolyu pri osushchestvlenii federal'nogo gosudarstvennogo lesnogo nadzora (lesnoy okhrany), federal'nogo gosudarstvennogo pozhar'nogo nadzora v lesakh i gosudarstvennogo nadzora v oblasti semenovodstva v otnoshenii semyan lesnykh rasteniy»* [Resolution of the Government of the Russian Federation of July 28, 2020, no. 132 «On the invalidation of some acts and certain provisions of some acts of the Government of the Russian Federation and on the abolition of some acts of federal executive authorities containing mandatory requirements, compliance with which is assessed during control measures in the implementation of Federal State Forest Supervision (Forest Protection), federal state fire supervision in forests and state supervision in the field of seed production»]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/565438868?marker=65A0IQ> (accessed 14.11.2024).
- [34] Leskinen P., Lindner M., Verkerk P.Y., Nabuurs G.Ya., Van Brusselen Y., Kulikova E., Khassegava M., Lerink B. *Les Rossii i izmenenie klimata* [Forests of Russia and Climate Change]. *Chto nam mozhnet skazat' nauka* [What Science Can Tell Us], 2020, 142 p. DOI: <https://doi.org/10.36333/wscu11>
- [35] Thorn S., Seibold S., Leverkus A.B., Michler T., Müller J., Noss R.F., Stork N., Vogel S., Lindenmayer D.B. The living dead: acknowledging life after tree death to stop forest degradation. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2020, v. 18 (9), pp. 505–512. DOI: [10.1002/fee.2252](https://doi.org/10.1002/fee.2252)
- [36] Ivanchina L.A., Bol'shakov E.G. *Vliyanie usykhaniya na izrezhivanie elovykh drevostoev i na izmenenie porodnogo sostava lesnykh nasazhdeniy Permskogo kraya* [The Impact of Drying Out on Thinning of Spruce Stands and Changes in Species Composition of Forest Plantations in Perm Krai]. *Lesotekhnicheskiy zhurnal* [Forest Engineering Journal], 2024, v. 14, no. 4 (56), pp. 6–21. DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2024.4/1>
- [37] Burton P.J., Jentsch A., Walker L.R. The Ecology of Disturbance Interactions. *BioScience*, 2020, v. 70, no. 10, pp. 854–870. DOI: [10.1093/biosci/biaa088](https://doi.org/10.1093/biosci/biaa088)
- [38] Leverkus A.B., Buma B., Wagenbrenner J., Burton P.J., Lingua E., Marzano R., Thorn S. Tamm review: Does salvage logging mitigate subsequent forest disturbances? *Forest Ecology and Management*, 2021, v. 481, p. 118721. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118721>
- [39] Terinov N.N., Andreeva E.M., Zalesov S.V., Luganskiy N.A., Magasumova A.G. *Vosstanovlenie elovykh lesov: teoriya, otechestvennyy opyt i metody resheniya* [Restoration of spruce forests: theory, domestic experience and solution methods]. *Russian Forestry J.*, 2020, no. 3, pp. 9–23. DOI: [10.37482/0536-1036-2020-3-9-23](https://doi.org/10.37482/0536-1036-2020-3-9-23)

- [40] Andreev V.P., Maslov Yu.I., Sorokoletova E.F. Functional properties of photosynthetic apparatus in three *Fucus* species inhabiting the White sea: effect of dehydration. *Fiziologiya rastenii*. Russian J. of Plant Physiology, 2012, v. 59, no. 2, pp. 244–250.
- [41] Junior-PAM Chlorophyll Fluorometer: Operator's Guide. Ed. by E. Pfündel. Germany, Heinz Walz GmbH, 2007, 58 p.
- [42] Gol'tsev V. N., Kaladzi Kh. M., Paunov M., Baba V., Khorachek T., Moyskiy Ya., Kotsel Kh., Suleyman I. A. *Ispol'zovanie peremennoy fluorestsentsii khlorofilla dlya otsenki fiziologicheskogo sostoyaniya fotosinteticheskogo apparata rasteniy* [Using variable chlorophyll fluorescence to assess the physiological state of the photosynthetic apparatus of plants]. *Fiziologiya rasteniy* [Plant Physiology], 2016, v. 63, no. 6, pp. 881–907.
- [43] Domanskiy V.P. *Distsionnoe izmerenie parametrov peremennoy fluorestsentsii rastitel'nykh ob'ektov* [Remote measurement of variable fluorescence parameters of plant objects]. *Zhurnal prikladnoy spektroskopii* [J. of Applied Spectroscopy], 2018, v. 85, no. 3, pp. 480–485.
- [44] Zul'fugarov I.S., Pashaeva A., Okhlopko Zh.M., Chun-Khvan Li. *Prakticheskoe rukovodstvo po izmereniyu urovnya fluorestsentsii khlorofilla v rasteniyakh i raschetu osnovnykh parametrov fluorestsentsii khlorofilla* [Practical guide for measuring the level of chlorophyll fluorescence in plants and calculation of the main parameters of chlorophyll fluorescence]. *Vestnik SVFU*, 2018, no. 2 (64), pp. 35–44.
- [45] Zaks J., Amarnath K., Kramer D.M., Niyogi K.K., Fleming G.R. A kinetic model of rapidly reversible nonphotochemical quenching. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 2012, v. 109, no. 39, pp. 15757–15762.
- [46] Makarenko M.S., Kozel N.V., Usatov A.V., Gorbachenko O.F., Averina N.G. A State of PSI and PSII Photochemistry of Sunflower Yellow-Green Plastome Mutant. *OnLine J. of Biological Sciences*, 2016, no. 16 (4), pp. 193–198.

This study was supported by grant No. 24-76-10057 from the Russian Science Foundation, <https://rscf.ru/project/24-76-10057/>

Authors' information

Bukharina Irina Leonidovna  — Dr. Sci. (Biology), Professor, Director of the Institute of Civil Protection, Udmurt State University; Honorary Worker of Education of the Russian Federation, buharin@udmlink.ru

Larionov Maksim Viktorovich — Dr. Sci. (Biology), Professor of the Russian Biotechnological University (ROSBIOTECH); Professor of the State University of Management, m.larionow2014@yandex.ru

Pashkova Anna Sergeevna — Cand. Sci. (Biology), Associate Professor of the Udmurt State University, elena7108@yandex.ru

Vedernikov Konstantin Evgen'evich — Cand. Sci. (Biology), Associate Professor of the Udmurt State University, wke-les@rambler.ru

Belelia Aleksandra Sergeevna — pg. of the Udmurt State University, alex.belelya@gmail.com

Received 16.04.2025.

Approved after review 23.07.2025.

Accepted for publication 31.08.2025.

Вклад авторов: все авторы в равной доле участвовали в написании статьи

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article

The authors declare that there is no conflict of interest

УДК 630*524:582.475.4(235.222)

DOI: 10.18698/2542-1468-2025-5-136-148

Шифр ВАК 4.1.3; 4.1.6; 1.5.15

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА СОСТОЯНИЕ И РАДИАЛЬНЫЙ ПРИРОСТ КЕДРА СИБИРСКОГО (*PINUS SIBIRICA DU TOUR*) В КЕДРОВНИКАХ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО АЛТАЯ

Н.М. Дебков

ФГБУН «Институт мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения Российской академии наук» (ИМКЭС СО РАН), Россия, 634055, г. Томск, пр. Академический, д. 10/3

nikitadebkov@yandex.ru

Представлены результаты исследования состояния и динамики радиального прироста кедра сибирского (*Pinus sibirica* Du Tour) в кедровниках Северо-Восточного Алтая вблизи Телецкого озера. Всего было заложено 10 пробных площадей и взято 100 образцов кернов. Глубина дендрохронологических рядов составила до 300 лет. Исследованиями охвачены 4 типа возрастных структур в разных частях лесного пояса гор, от черневого до субальпийского поясов. Показано, что древостои здоровые и не имеют патологического отпада, за исключением повреждения пихтового элемента леса уссурийским полиграфом (*Polygraphus proximus* Blandford). Установлено поражение кедровников сердцевинными гнилями (около 90 %), что выявлено в среднем у 23 % деревьев. Сделан вывод о преимущественной буреломной естественной динамике кедровников, подтверждаемой преобладанием разновозрастных древостоев (60 %). Высказано мнение о том, что современное изменение климата, начиная с 1976 г., оказало исключительно положительное влияние на кедровники и привело к существенному увеличению продуктивности за счет усиленного радиального прироста стволов в насаждениях. Определено варьирование данного показателя в зависимости от типа возрастной структуры, причем в среднем прирост увеличился не менее чем в 2 раза и продолжает увеличиваться, чего ранее за все время роста изученных древостоев с радиальным приростом не происходило. При сохранении динамики влажного потепления климата состояние кедровых лесов не должно ухудшаться, и кедр должен сохранить свои позиции в целом с расширением ареала вверх по склонам гор.

Ключевые слова: изменение климата, Северо-Восточный Алтай, радиальный прирост, кедр сибирский (*Pinus sibirica* Du Tour)

Ссылка для цитирования: Дебков Н.М. Влияние изменения климата на состояние и радиальный прирост кедра сибирского (*Pinus sibirica* Du Tour) в кедровниках Северо-Восточного Алтая // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2025. Т. 29. № 5. С. 136–148. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-5-136-148

Современные глобальные процессы обуславливают изменения погодно-климатической системы практически во всех регионах мира [1–10]. Не является исключением и Российская Федерация [11–15], в частности Алтае-Саянский экорегион [16–18]. Здесь своим природным биоразнообразием выделяется Телецкое озеро и прилегающая к нему тайга — объекты всемирного природного наследия ЮНЕСКО. Прителецкой тайге придает значимость ее значение как рефугиума.

Кедр сибирский (*Pinus sibirica* Du Tour) при покровном оледенении, произошедшем около 18...20 тыс. лет тому назад, сохранился в многочисленных убежищах на юге Сибири, в

том числе в Горном Алтае вблизи Телецкого озера [19–22]. Важнейшей особенностью лесного фонда данного экорегиона является абсолютное доминирование кедровых лесов в подгольцовом и горно-таежном поясах и участие данного лесообразователя в качестве содоминанта в черневом подпоясе. Также на исключительно подходящие кедру сибирскому климатические условия указывает и тот факт, что на горячих, ветровалах и вырубках он зачастую выступает как древесная порода-пионер, что не характерно для него в других частях ареала и подтверждает ценность Прителецкой тайги для сохранения генетического разнообразия кедра сибирского [23–25].

Это обстоятельство определяет и крайне успешное, даже без проведения комплекса агротехнических и лесоводственных уходов, искусственное воспроизводство кедровников.

Т а б л и ц а 1

Расположение пробных площадей

Trial plots' location

Номер пробной площади	Высота над уровнем моря, м	Пояс	Участковое лесничество	Урочище	Квартал	Выдел	Географические координаты	
							Долгота (в. д.)	Широта (с. ш.)
1	1039	Горно-таежный	Июгачское	Телецкое	78	2	87,42350178°	51,65108376°
2	1002	«←»	«←»	«←»	62	9	87,42135279°	51,65761179°
3	1478	«←»	«←»	Июгачское	97	23	87,38527783°	51,56791805°
4	1465	«←»	«←»	«←»	97	18	87,3842485°	51,56827804°
5	1529	Субальпийский	Пыжинское	Пыжинское	127	13	87,19555339°	51,54441827°
6	1176	Горно-таежный	Июгачское	Июгачское	100	18	87,24905813°	51,55180691°
7	899	Черневой	«←»	«←»	105	36	87,24833117°	51,52014049°
8	1029	Горно-таежный	«←»	«←»	147	22	87,35281894°	51,46334910°
9	769	Черневой	«←»	«←»	71	2	87,26464106°	51,64033173°
10	1081	Горно-таежный	«←»	«←»	107	1	87,26555854°	51,55322653°

Цель работы

Цель работы — изучение актуального состояния кедровников и динамики их роста за последние 300 лет, оценка влияния на них глобальных изменений климата.

Материалы и методы

Полевые работы выполнялись на территории Июгачского и Пыжинского участковых лесничеств Телецкого лесничества (табл. 1) с учетом высотной поясности. Основная часть пробных площадей (ПП) заложена в горно-таежном поясе, где располагается бóльшая часть кедровников.

В настоящей работе использована специальная шкала [26], согласно которой по морфологическим показателям кроны и ствола дерева можно отнести к шести группам. Первые четыре из них характеризуют состояние от абсолютно жизнеспособных деревьев через промежуточные стадии ослабления до погибающих, а последние две группы, детерминируют отпад по времени на текущий (годовой) и отпад прошлых лет.

Для оценки динамических параметров состояния древостоя применялся такой показатель, как «виталитетный спектр» [27], согласно которому в текущем моменте определяется группирование деревьев по жизненному потенциалу, что, в свою очередь, дает возможность прогнозировать развитие патологических процессов в насаждениях на перспективу, как правило, кратко- и среднесрочную.

В общепринятой практике лесозащиты основным параметром здоровья лесных насаж-

дений является средневзвешенная категория состояния деревьев в древостое (СКС) [28]. В зависимости от соотношения групп деревьев с разным состоянием насаждения относятся к пяти классам: от жизнеспособных древостоев через постепенный ряд ослабления до погибших.

Пробные площади размером 50×20 м отбивались по буссоли Suunto с промером линий нитевым измерительным устройством Haglof. Все деревья с диаметром стволов от 6 см были пронумерованы, номера нанесены на стволы краской. К закладываемым ПП предъявлялись требования как к постоянным пунктам наблюдения: наличие не менее 30 деревьев, у которых мерной лентой был измерен диаметр ствола на высоте 1,3 м от поверхности земли, дана оценка состояния по утвержденной 6-бальной шкале (с учетом гнилей, вредителей, габитуса). У 10 деревьев была измерена высота с помощью электронного высотомера Nikon Forestry Pro и взяты керны буравом Haglof для определения возраста и радиального прироста, измерена протяженность и диаметр кроны крономером Кондратьева, рассчитаны густота древостоя и полнота с помощью цепного реласкопа, а также другие таксационные показатели (в том числе, характеристика живого напочвенного покрова и подроста).

Измерение ширины древесных колец проводилось с помощью комплекса LINTAB-5 с пакетом компьютерных программ TSAP с точностью до 0,01 мм [29].

Протяженность кроны по стволу более 50 % считалась высокой, 40...50 % — средней, менее 40 % — низкой. Диаметр кроны более 3,5 м считалась широкой, 2,5...3,5 м — средней,

Т а б л и ц а 2

Таксационная характеристика обследованных древостоев

Tree stands' characteristics of the trial plots

Номер пробной площади	Состав древостоя	Диаметр ствола, см	Высота дерева, м	Полнота		Класс бонитета	Средний возраст	Тип леса	Протяженность кроны кедра		Диаметр кроны кедра	
				м ² /га	ед.				м	%	м	%
1	9К	62,3 ± 5,1	29,8 ± 2,1	67,48	1,2	II	217,5	Чернично-папоротниковый	17,1 ± 1,5	58 ± 4	3,4 ± 0,1	12 ± 1
	1П	16,3 ± 2,5	–									
	Ед. Б	6,7	–									
2	8К	42,0 ± 7,5	25,2 ± 2,5	47,05	0,9	II	176,4	Чернично-папоротниковый	11,9 ± 1,4	47 ± 3	2,4 ± 0,2	9 ± 1
	2П	19,9 ± 1,8	21,0 ± 1,4									
	Ед. Б	29,3	–									
3	10К	35,6 ± 2,6	20,7 ± 1,7	63,47	1,3	III	274,1	Бадановый	9,7 ± 1,1	47 ± 4	2,3 ± 0,2	11 ± 1
	+П	13,4 ± 1,5	–									
4	9К	64,5 ± 5,1	23,6 ± 1,4	64,74	1,3	III	176,1	Разнотравный	11,3 ± 1,1	47 ± 3	3,0 ± 0,5	17 ± 1
	1П	21,9 ± 1,8	23,3 ± 0,3									
5	9К	42,9 ± 5,1	19,4 ± 1,1	37,15	0,8	IV	141,6	Чернично-разнотравный	10,1 ± 0,9	52 ± 3	3,2 ± 0,4	16 ± 1
	1П	25,3 ± 1,7	22,4 ± 1,0									
6	9К	58,2 ± 5,3	30,0 ± 1,1	55,18	1,0	II	173,2	Осочково-черничный	13,9 ± 1,1	46 ± 3	3,3 ± 0,3	11 ± 1
	1П	19,5 ± 1,2	16,3 ± 5,1									
	Ед. Е	18,8	–									
7	8К	49,2 ± 3,9	30,3 ± 1,6	46,52	0,8	II	171,5	Черничный влажный	17,5 ± 1,8	57 ± 4	2,6 ± 0,3	8 ± 1
	1П	18,1 ± 1,3	21,6									
	1Е	16,8 ± 1,7	20,4 ± 3,6									
	Ед. Б	12,0 ± 2,2	8,2									
8	9К	44,7 ± 2,8	26,9 ± 1,3	84,18	1,5	III	162,8	Мелко-травно-черничный	11,8 ± 0,9	44 ± 2	2,3 ± 0,3	9 ± 1
	1П	16,5 ± 1,2	22,3 ± 7,3									
	+Е	24,6 ± 10,0	–									
	Ед. Б	14,0 ± 2,8	–									
9	9К	41,6 ± 3,7	26,2 ± 2,1	46,72	0,9	III	128,4	Крупно-травно-папоротниковый	11,8 ± 2,0	44 ± 6	3,5 ± 0,5	13 ± 1
	1П	22,0 ± 1,8	17,2 ± 1,2									
	Ед. Б	19,7 ± 6,0	–									
10	8К	45,8 ± 3,6	26,0 ± 1,0	48,46	0,9	II	179,9	Мелко-травно-мелкопапоротниково-черничный	10,7 ± 0,8	41 ± 2	2,3 ± 0,3	9 ± 1
	2П	18,7 ± 1,2	18,1 ± 1,5									
	Ед. Б	16,2 ± 1,3	–									

менее 2,5 м — узкой. При густоте деревьев кедра более 250 шт./га древостой считался перегушенным, 120...250 шт./га — средней густоты, менее 120 шт./га — редким.

Результаты и обсуждение

Обследованные лесные насаждения характеризуются доминированием кедра сибирского (*Pinus sibirica* Du Tour) в своем составе. В качестве основного содоминанта выступает пихта сибирская (*Abies sibirica* Ledeb.). Участие ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) снижено,

крайне редко отмечены береза пушистая (*Betula pubescens* Ehrh.) и береза повислая (*Betula pendula* Roth) (табл. 2). Полнота древостоев близка к максимальной для данных условий произрастания, что подтверждается II классом бонитета (т. е. высоким) у половины насаждений, а оставшаяся половина характеризуется средним показателем производительности.

Средний диаметр древостоев по всем ПП изменяется от ступени толщины 36 до 64 см, с модальным значением 40...44 см при варьировании средней высоты от 20 до 30 м. Типы леса отличаются вариативностью и разной долей

участия некоторых индикаторных растений, среди которых в 70 % насаждений присутствует черника, в 40 % — папоротники и лесное мелко- и разнотравье.

Низкоопущенные кроны у кедра сибирского отмечены у трети насаждений. Остальные кедровники имеют среднее значение этого показателя. Ширококронные деревья отмечены на ПП № 1 и № 9, а узкокронные — на ПП № 2 и № 3, на остальных ПП кроны деревьев имеют средний диаметр. Чаще всего число особей кедра сибирского варьирует в пределах 170...260 экз./га. Исключение составляет только две ПП, где оно превышает 400 экз./га.

Вертикальное строение древостоев гетерогенно, и четко выделяется основной полог из кедрового элемента леса. Промежуточный полог более разнообразен в видовом отношении и в его составе участвует содоминант пихта сибирская и в качестве примеси ель сибирская и береза повислая и береза пушистая. Также выделяется и подчиненный полог, который формируют все древесные породы, что обусловлено более или менее постоянным или периодическим процессом семеношения от материнских генеративных особей. Однако ввиду своего положения и постоянного недостатка солнечного света доля участия тех или иных древесных видов однозначно детерминирована степенью их теневыносливости, где признанным лидером является пихта сибирская.

Отмечено, что на отметках около 1500 м н. у. м. происходит гомогенизация ярусности и вместо трех, древостой подразделяется на два полога: основной и подчиненный, а промежуточный отсутствует. При этом подчиненный ярус имеет низкую плотность.

Природный (естественный) потенциал лесовозобновления имеется в 50 % обследованных древостоев (ПП №№ 2, 3, 7, 8, 10). Именно в них численность подроста предварительных генераций составляет около 1000 экз./га, что связано с доминированием в составе напочвенного покрова кустарничков (в первую очередь черники). Недостаточный потенциал естественного воспроизводства, отмеченный на других пробных площадях, обусловлен разрастанием напочвенного покрова с преобладанием трав. Видовой состав подроста представлен кедром сибирским и пихтой сибирской в соотношении 40/60 %.

Распространенность гнилей составляет 90 % среди обследованных кедровников. Несмотря на повсеместное развитие гнилевых процессов у кедра сибирского, непосредственно гнили, способные привести к бурелому в зависимости от характеристик насаждений (в первую очередь возрастных особенностей), варьируют



Рис. 1. Виталитетный спектр кедровых насаждений
Fig. 1. The vital spectrum of Siberian pine stands

в пределах 12...37 % общего числа деревьев кедра в конкретном насаждении.

Подавляющее число изученных кедровников по средневзвешенной категории состояния оказались жизнеспособными (до 1,5 балла на ПП №№ 2, 4, 5, 6, 8, 9, 10, или 70 % (рис. 1). Остальные 30 % насаждений были признаны ослабленными (СКС от 1,5 до 2 балла). При этом разница в здоровых деревьях кедра у этих двух групп древостоев составляла от 12 до 16 %. Основной причиной ослабления были повреждение и ослабление сопутствующих пород, находящихся под основным пологом. Особенно сильно влияло на степень ослабления наличие пихты сибирской и ее пораженность полиграфом уссурийским (*Polygraphus proximus* Blandford).

Установлено, что в 50 % изученных кедровников присутствовали деревья IV–VI категорий, т. е. погибающие и погибшие в прошлые годы. В другой половине древостоев патологические процессы отсутствовали. Протекание процессов отпада деревьев шло преимущественно (в 80 % случаев) за счет пихты сибирской в связи с инвазией уссурийского полиграфа и лишь в 20 % по кедру сибирскому.

При анализе возрастной структуры были выделены четыре типа кедровников: условно-одновозрастные, абсолютно-разновозрастные, ступенчато-разновозрастные и циклично-разновозрастные в соответствии с методикой И.С. Семечкина [30]. Условно-одновозрастными древостоями было признано 40 % кедровников (ПП №№ 2, 6, 8, 10). Это самый распространенный тип возрастной структуры. Далее 30 % кедровников отнесены к циклично-разновозрастным с тремя-четырьмя поколениями деревьев (ПП №№ 3, 4, 9), 20 % — к ступенчато-разновозрастным с двумя поколениями деревьев (ПП №№ 5, 7) и 10 % (ПП № 1) — к абсолютно-разновозрастным.

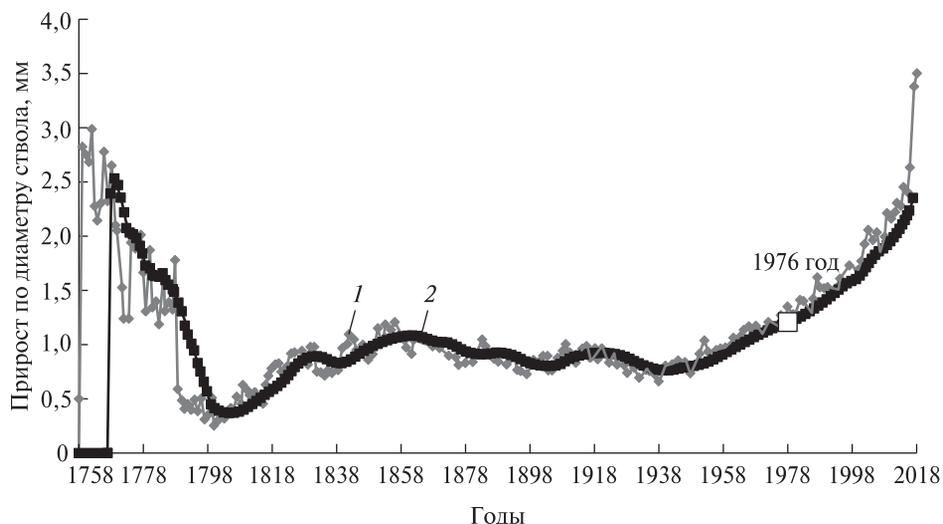


Рис. 2. Рост по диаметру ствола в насаждениях с относительно одновозрастной структурой. Здесь и далее на рис. 3–5: 1 — фактический прирост; 2 — средний скользящий прирост (11 лет)

Fig. 2. Growth by trunk diameter in stands with a relatively uniform-aged structure. From here on in figs. 3–5: 1 — actual growth; 2 — average sliding growth (11 years)

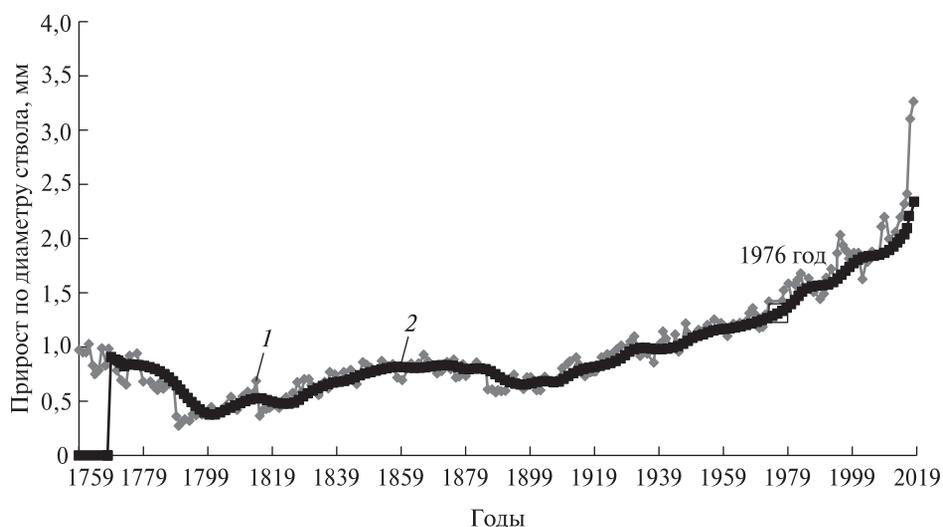


Рис. 3. Рост по диаметру ствола в насаждениях с абсолютно-разновозрастной структурой

Fig. 3. Growth by trunk diameter in stands with a completely uneven-aged structure

Согласно узкоспециализированным исследованиям [31–36] реперным годом изменения (потепления) климата в Алтае-Саянской горной стране принято считать 1976 г. Далее в анализе до 1976 г. прирост считается контрольным (фоновым), а с 1976 г. модифицированным (трансформированным) под влиянием глобальных изменений (потепления) климата.

Из рис. 2 следует, что начиная с 1976 г. четко видно резкое увеличение прироста стволов кедра, выходящее за колебания показателя в предыдущие 170...180 лет (с момента оконча-

ния периода большого роста у молодых кедровников). Кривая прироста наглядно показывает характер динамики показателя в насаждениях, формирующихся из деревьев одного возраста, которые обладают максимальным приростом до фазы чащи (смыкания крон) и последующим резким падением прироста в фазу дифференциации деревьев с сопровождающимся естественным изреживанием древостоя. После этой фазы развития прирост стабилизируется. Если до 1976 г. прирост изменялся от 0,7 до 1,1 мм/год, то в последние 43 года он постоянно

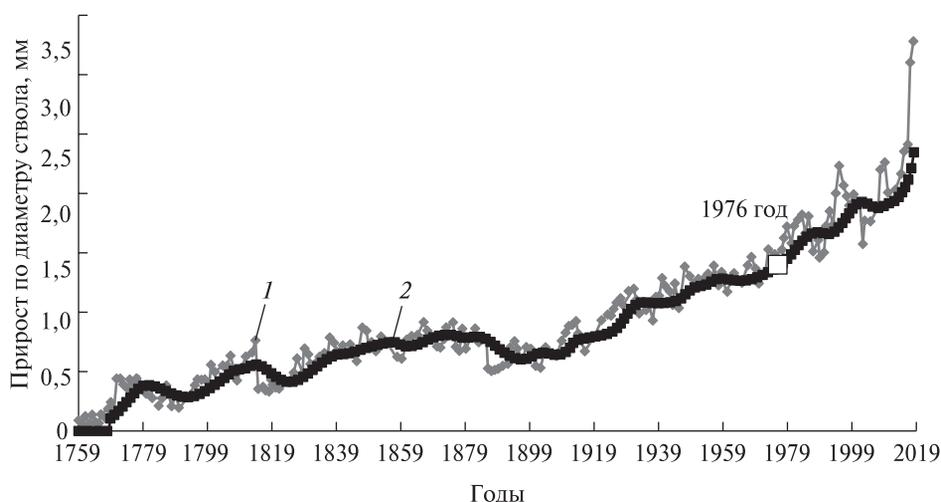


Рис. 4. Рост по диаметру ствола в насаждениях со ступенчато-разновозрастной структурой

Fig. 4. Growth by trunk diameter in stands with a stepped uneven-aged structure

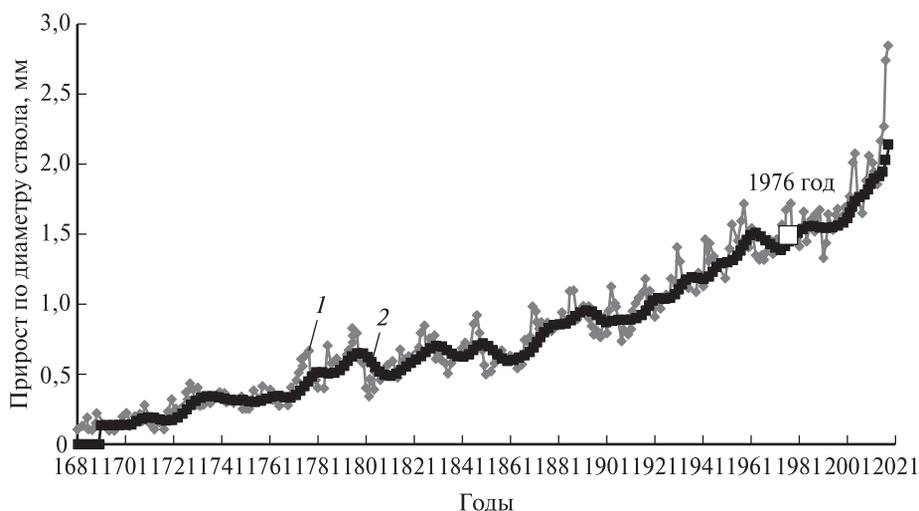


Рис. 5. Рост по диаметру ствола в насаждениях с циклично-разновозрастной структурой

Fig. 5. Growth by trunk diameter in stands with a cyclical, uneven-age structure

увеличивался с 1,1 до 2,4 мм/год, т. е. в 1,7 раза, и не останавливается до сих пор. Отметим, что зафиксированное потепление климата в начале XX в. и похолодание в середине XX в. [37] также отображено на кривой радиального прироста (см. рис. 2).

Из рис. 3 видно, что увеличение показателя пришлось на начало XX в. (когда наблюдалось потепление климата после малого ледникового периода), протекало постепенно с небольшим торможением в середине XX в. (климатологами было отмечено похолодание). Кривая прироста наглядно показывает сглаженный (выровненный) характер динамики показателя в наса-

ждениях, формирующихся из деревьев разного возраста. Если за 100 лет роста в малом ледниковом периоде до 1850-х годов прирост варьировал от 0,4 до 0,9 мм/год, то в последующее небольшое потепление, до середины XX в., он увеличивался планомерно с 0,7 до 1,1 мм, или в 1,4 раза. В период небольшого похолодания в середине XX в. прирост стабилизировался на отметке 1 мм/год и начал более выраженно увеличиваться с 1976 г. — с 1,3 до 2,4 мм/год, т. е. в 2,2 раза, и не останавливается до сих пор.

Из рис. 4 видно, что в общих чертах повторяется динамика радиального прироста деревьев кедра в древостоях с абсолютно-разновозрастной

Т а б л и ц а 3

**Статистические показатели радиального прироста (мм)
у кедра сибирского до и после изменения климата**
Statistical data of radial growth of Siberian pine forests before and after climate change

Номер пробной площади	До 1976 г.				После 1976 г.			
	$M \pm m$	min	max	CV	$M \pm m$	min	max	CV
1	$0,77 \pm 0,02$	0,23	1,48	39	$1,81 \pm 0,06$	1,25	2,84	22
2	$1,22 \pm 0,03$	0,51	2,99	32	$1,03 \pm 0,02$	0,83	1,61	16
3	$0,68 \pm 0,01$	0,16	1,52	34	$1,14 \pm 0,03$	0,94	2,13	19
4	$1,16 \pm 0,02$	0,64	3,11	29	$1,81 \pm 0,07$	1,23	3,32	26
5	$1,03 \pm 0,02$	0,20	1,63	30	$1,91 \pm 0,04$	1,46	2,97	15
6	$1,13 \pm 0,02$	0,55	2,75	23	$1,88 \pm 0,06$	1,41	3,29	20
7	$0,68 \pm 0,01$	0,27	1,26	24	$1,65 \pm 0,07$	1,11	3,28	26
8	$0,83 \pm 0,02$	0,43	1,38	24	$1,85 \pm 0,08$	1,18	3,89	28
9	$1,01 \pm 0,03$	0,20	2,06	45	$1,93 \pm 0,05$	1,40	2,96	17
10	$1,03 \pm 0,02$	0,50	2,13	24	$1,92 \pm 0,11$	1,06	3,68	36

Примечание. $M \pm m$ — среднее значение с ошибкой; CV — коэффициент вариации, %

структурой. Увеличение этого показателя произошло в начале XX в., в период небольшого потепления климата после малого ледникового периода. Несколько затормозился прирост в период похолодания в середине XX в. Кривая прироста демонстрирует скачкообразный характер динамики показателя в периоды появления поколений в насаждениях, формирующихся из деревьев разных возрастных когорт. Если за 100 лет роста в малом ледниковом периоде до 1850-х годов прирост варьировал от 0,1 до 0,7 мм/год, то в последующее небольшое потепление до середины XX в. он увеличивался планомерно с 0,6 до 1,2 мм, или в 1,8 раза. В период небольшого похолодания середины XX в. он стабилизировался на отметке 1,2 мм/год, и начал более выраженно увеличиваться с 1976 г. с 1,4 до 2,3 мм/год, т. е. в 2,4 раза и не останавливается до сих пор.

Из рис. 5 видно, что в общих чертах повторяется динамика кедра в древостоях с абсолютно-разновозрастной и ступенчато-разновозрастной структурой. Увеличение показателя также произошло в начале XX в. в период небольшого потепления климата после малого ледникового периода, с небольшим падением прироста в период похолодания в середине XX в. Кривая прироста показывает скачкообразный характер динамики показателя в периоды появления поколений в насаждениях, формирующихся из деревьев разных возрастных когорт. Если за 170 лет роста в малом ледниковом периоде до 1850-х годов прирост колебался от 0,1 до 0,7 мм/год, то в последующее небольшое потепление до середины XX в. он увеличивался

планомерно с 0,6 до 1,3 мм, или в 2,2 раза. В период небольшого похолодания в середине XX в. он снизился и в среднем составил 1,4 мм/год, более выраженно начал увеличиваться с 1976 г. с 1,4 до 2,1 мм/год, т. е. в 2,4 раза, и не останавливается до сих пор.

Динамика радиального прироста по ПП (табл. 3) в целом подтверждает приведенные выше выводы. Из всех ПП только на ПП № 2 прирост снизился с 1,2 мм за период до 1976 г. до 0,8 мм в период наблюдаемого потепления климата. Вероятно, это связано с возрастной структурой древостоя, точнее с ее условной одновозрастностью. Это подтверждается более высокой реакцией на потепление климата у абсолютно-разновозрастных древостоев (в 2,35 раза), чем у условно одновозрастных (в 1,62 раза). Для циклично-разновозрастных и ступенчато-разновозрастных древостоев отмечены промежуточные результаты — в 1,72 и в 2,14 раза соответственно.

Наблюдается дифференциация в увеличении минимального и максимального прироста. Сравнение усредненного по всем ПП минимального прироста до и после 1976 г. показывает, что произошло увеличение данного показателя в 3,22 раза, в то время как максимальный прирост увеличился только в 1,48 раза, т. е. наращивание радиального прироста идет преимущественно за счет увеличения минимальных значений примерно в 2 раза больше, чем по максимальному приросту. При этом отмечается снижение коэффициента вариации радиального прироста в 1,74 раза, т. е. прирост стал более выровненным.

Изучение связи роста по диаметру ствола деревьев (среднего прироста) с максимальным и средним возрастом кедровников показал, что коэффициенты корреляции отрицательные и достоверные: $-0,65 \pm 0,27$ ($p = 0,04 \leq 0,05$) и $-0,61 \pm 0,28$ ($p = 0,05 \leq 0,05$). Связи среднего прироста насаждений и высоты н. у. м. ($r = 0,03 \pm 0,35$, $p = 0,93 \geq 0,05$) и высотной поясностью ($r = -0,11 \pm 0,35$, $p = 0,75 \geq 0,05$) отсутствуют, но коэффициенты корреляции недостоверны и требуется более масштабная выборка.

Данные о динамике радиального прироста кедровников в пределах Прителецкой тайги оказались достаточно климатически обусловленными. Несмотря на нетипичность использования в качестве объекта дендроклиматических исследований кедровников черневого, горно-таежного и субальпийского поясов, обладающих вертикальной и горизонтальной сомкнутостью полога и, соответственно, ярко выраженными фитоценоотическими взаимодействиями, все основные колебания радиального прироста были детерминированы вековыми колебаниями климата Алтае-Саянской горной страны. В частности, как показано в работе [38] на примере лиственницы сибирской, произрастающей на Алтае, похолодания первой половины XIX в., начала и середины XX в., также наблюдаются в дендрохронологических рядах кедр в исследованном районе. Более того, реконструкция климата методами дендрохронологии в Северной Канаде за 1000 лет [39], в общих чертах также подтверждает эти изменения климатической системы планеты в северных широтах.

Наблюдения за климатом на Алтае имеют давнюю историю и инструментальные измерения ведутся с конца XIX в. Отмеченные похолодания и потепления за последние 150–200 лет и их влияние на радиальный прирост древостоев позволили ученым, специализирующимся на дендроклиматических исследованиях на Алтае, сделать вывод о первостепенном влиянии на радиальный прирост именно температуры воздуха [40]. Наши данные также подтверждают этот вывод, но позволяют более детально рассмотреть механизм дендроклиматического отклика в разрезе возрастных структур насаждений кедр. Ранее в таком ключе влияние климата на радиальный прирост не рассматривалось. В частности, установлено, что отклик существенно выше в разновозрастных кедровниках по сравнению с одновозрастными — почти в 1,5 раза. Выявленное на примере лиственницы на Урале детерминирующее влияние локальных условий на динамику радиального прироста [41] в некоторой степени подтвердилось в виде отсутствия корреляции с высотной поясностью.

В то же время нельзя проигнорировать и полученные данные об отрицательной динамике прироста после 1976 г. на одной из ПП. Вероятно, как это было показано на примере лиственницы в лесостепном экотоне в Саянах [42] и дуба белого (*Quercus alba*) в США [43], наряду с температурой воздуха, лимитирующее влияние оказывает и фактор влажности, который размывает дендроклиматический отклик вплоть до нивелирования положительного действия температуры воздуха и даже приводит к ее отрицательному воздействию на радиальный прирост деревьев. Наглядно характер такого воздействия показан на примере редкостойных лиственничников на верхней границе леса на Алтае [44, 45].

В целом наблюдающееся с 1976 г. изменение (потепление) климата пока приводит к резкому увеличению радиального прироста кедровников. Такой эффект обусловлен практически неизменным уровнем увлажненности. Именно благодаря этому факту большая часть горных кедровников не снизила своего виталитета и находится в здоровом жизненном состоянии. Наблюдающиеся локальные стихийные природные явления типа буреломов и пожаров значимым образом не влияют на состояние кедровников. С учетом этого при сохранении тенденции «влажного потепления» серьезного снижения лесообразующего значения кедр в горах Алтая не ожидается.

Выводы

Обследование кедровников в районе Телецкого озера выявило, что 40 % насаждений имеют условно-однообразную структуру и 60 % в различной степени разновозрастную. В зависимости от высотной поясности, характера и факторов лесообразования разновозрастность может быть непрерывной при развитии абсолютно-разновозрастных кедровников или прерывистой при развитии циклично- или ступенчато-разновозрастных кедровников.

В силу природных условий и фитоценоотических особенностей кедр и пихта ярко проявляют доминирующее лесообразующее значение, за исключением черневого пояса, практически не способна вытеснить кедр. В связи с этими особенностями на большинстве инструментально обследованных участков наблюдается четкая ярусная организация лесных сообществ.

Распространение гнилевых процессов отмечается в подавляющем количестве обследованных насаждений (90 %). Тем не менее критических размеров сердцевинные гнили достигают только у четверти деревьев кедр,

имеющих гниль. Это обуславливает незначительное распространение единичного бурелома в изученных насаждениях.

Наблюдающееся изменение (потепление) климата отражается на радиальном приросте кедровников, что приводит к резкому увеличению данного показателя, который достиг значений, ранее (за последние 300 лет) не отмеченных. Норма радиального прироста после 1976 г. увеличилась почти в 2 раза.

Наблюдается дифференциация в увеличении минимального и максимального прироста. Сравнение усредненного по всем ПП минимального прироста до и после 1976 г. показывает, что произошло увеличение данного показателя в 3,22 раза, в то время как максимальный прирост увеличился только в 1,48 раза, т. е. наращивание радиального прироста идет преимущественно за счет увеличения минимальных значений примерно в 2 раза больше, чем по максимальному приросту. При этом отмечается снижение коэффициента вариации радиального прироста в 1,74 раза, т. е. прирост стал более выровненным. Учитывая сохранение тенденции на «влажное потепление» серьезного снижения лесообразующей роли кедра в горах Алтая не ожидается.

Исследование было поддержано Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (госзадание ИМКЭС СО РАН, регистрационный номер проекта 1022042600048-9-1.5.1).

Список литературы

- [1] Budyko M.I. The future climate // *Eos*, 1972, v. 53, iss. 10, pp. 868–874. <https://doi.org/10.1029/E0053i010p00868>
- [2] Предстоящие изменения климата / под ред. М.И. Будыко, Ю.А. Израэля, М.С. Маккракена, А.Д. Хекта. Л.: Гидрометеоздат, 1991. 271 с.
- [3] Будыко М.И., Ефимова Н.А., Лугина К.М. Современное потепление // *Метеорология и гидрология*, 1993. № 7. С. 29–34.
- [4] Булыгина О.Н., Коршунова Н.Н., Кузнецова В.Н., Разуваев В.Н., Трофименко Л.Т. Анализ изменчивости климата на территории России в последние десятилетия // *Труды ВНИИГМИ-МЦД*, 2000. Вып. 167. С. 3–15.
- [5] Neville N. Climate: Sawyer predicted rate of warming in 1972 // *Nature*, 2007, no. 448 (7157), p. 992. <https://doi.org/10.1038/448992c>
- [6] Carter J.G. Climate change adaptation in European cities // *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2011, v. 3, no. 3, pp. 193–198.
- [7] Gea-Jae J., Ji Yoon K., Yuno D., Maurice L. Talking about Climate Change and Global Warming // *PLOS ONE*, 2015, v. 10, iss. 9, no. e0138996. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0138996>
- [8] Balsari S., Dresser C., Leaning J. Climate Change, Migration, and Civil Strife // *Curr Environ Health Rep.*, 2020, v. 7, iss. 4, pp. 404–414. <https://doi.org/10.1007/s40572-020-00291-4>
- [9] Glantz P., Fawole O.G., Ström J., Wild M., Noone K.J. Unmasking the Effects of Aerosols on Greenhouse Warming Over Europe // *J. of Geophysical Research: Atmospheres*, 2022, v. 127, iss. 22, no. e2021JD035889. <https://doi.org/10.1029/2021JD035889>
- [10] Seltzer A.M., Blard P.-H., Sherwood S.C., Kageyama M. Terrestrial amplification of past, present, and future climate change // *Sci. Adv.*, 2023, v. 9, iss. 6, no. eadf8119. <https://doi.org/10.1126/sciadv.adf8119>
- [11] Порфирьев Б., Катцов В. Последствия изменений климата в России и адаптация к ним (оценка и прогноз) // *Вопросы экономики*, 2011. № 11. С. 94–108.
- [12] Липка О.Н., Романовская А.А., Семенов С.М. Прикладные аспекты адаптации к изменениям климата в России // *Фундаментальная и прикладная климатология*, 2020. Т. 1. С. 65–90.
- [13] Bogatov V.V., Baklanov P.Ya., Lozovskaya S.A., Shtets M.B. Climate change and health in the russian Far East // *Vestnik of the Far East Branch of the Russian Academy of Sciences*, 2021, no. 1(215), pp. 5–21.
- [14] Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме / под ред. В.М. Катцова. СПб.: Научное издание, 2022. 124 с.
- [15] Danilchenko S.L. Climate change in Russia: historical dynamics // *Agrarian History*, 2022, no. 12, pp. 22–29.
- [16] Сухова М.Г., Русанов В.И. Климаты ландшафтов Горного Алтая и их оценка для жизнедеятельности человека. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. 150 с.
- [17] Изменение климата и его воздействие на экосистемы, население и хозяйство российской части Алтае-Саянского экорегиона: оценочный доклад / Под ред. А.О. Кокорина. М.: WWF, 2011. 168 с.
- [18] Харламова Н.Ф., Останин О.В. Обзор современного термического режима Алтае-Саянского экорегиона и возможные прогнозы // *Известия Алтайского государственного университета*, 2012. № 3(75). С. 147–152.
- [19] Крылов Г.В., Таланцев Н.К., Козакова Н.Ф. Кедр. М.: Лесная пром-сть, 1983. 215 с.
- [20] Кедровые леса Сибири / под ред. А.С. Исаева. Новосибирск: Наука, 1985. 257 с.
- [21] Крылов Г.В., Шмонов А.М. Сибирский кедр. Кемерово: Книжное изд-во, 1985. 127 с.
- [22] Данченко А.М., Бех И.А. Кедровые леса Западной Сибири. Томск: Томский государственный ун-т, 2010. 421 с.
- [23] Титов Е.В. Реализация селекционной программы кедра сибирского на семенную продуктивность в Горном Алтае // *Хвойные бореальной зоны*, 2010. Т. 27. № 1–2. С. 194–198.
- [24] Ильичев Ю.Н. Генетико-селекционные объекты кедра сибирского (*Pinus sibirica* Du Tour) в Республике Алтай: структура, стратегия совершенствования и использования // *Хвойные бореальной зоны*, 2012. Т. 30. № 1–2. С. 87–91.
- [25] Петрова Е.А., Горошкевич С.Н., Белоконь М.М., Белоконь Ю.С., Политов Д.В. Генетическое разнообразие кедра сибирского *Pinus sibirica* Du Tour: распределение вдоль широтного и долготного профилей // *Генетика*, 2014. Т. 50. № 5. С. 538.

- [26] Алексеев И.А., Гусева О.Н., Курненькова И.П., Чешуин Е.Н. Интегрированная система защиты леса. Йошкар-Ола: Изд-во МарГТУ, 2013. 416 с.
- [27] Ярмишко В.Т., Горшков В.В., Ставрова Н.И. Виталитетная структура *Pinus sylvestris* L. в лесных сообществах с разной степенью и типом антропогенной нарушенности // Растительные ресурсы, 2003. Т. 39, Вып. 4. С. 1–18.
- [28] Тузова В.К. Методы мониторинга вредителей и болезней леса. М.: ВНИИЛМ, 2004. 200 с.
- [29] Rinn F. TSAP V3.5. Computer Program for Tree-Ring Analysis and Presentation. Heidelberg: Frank Rinn Distribution, 1996. 264 p.
- [30] Семечкин И.В. Структура и динамика кедровников Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. 253 с.
- [31] Сухова М.Г., Модина Т.Д. Современные изменения температурного режима воздуха и режима увлажнения на Алтае как проявление регионального изменения климата // Мир науки, культуры, образования, 2007. № 2. С. 14–18.
- [32] Сыромятина М.В. Современные изменения климата и элементов высотной поясности ландшафтов Алтая: авторефер. дис. ... канд. геогр. наук. Санкт-Петербург, 2010. 18 с.
- [33] Ротанова И.Н., Харламова Н.Ф., Останин О.В. Изменения климата Алтая за период инструментальных исследований // Известия Алтайского государственного университета, 2012. Вып. 2. № 3. С. 105–109.
- [34] Харламова Н.Ф., Останин О.В. Обзор современного термического режима Алтае-Саянского экорегиона и возможные прогнозы // Известия Алтайского государственного университета, 2012. Вып. 3. № 1. С. 147–152.
- [35] Кочеева Н.А., Егисман А.И. Особенности временного хода отклонений температуры воздуха от средних показателей в Республике Алтай // Вестник российских университетов. Математика, 2013. Вып. 18. № 2. С. 635–638.
- [36] Чередыко Н.Н., Журавлев Г.Г., Кусков А.И. Оценка современных климатических тенденций и синхронности их проявления в Алтайском регионе // Вестник Томского государственного университета, 2014. № 379. С. 200–208.
- [37] Овчинников Д.В. Реконструкция изменений климата гор Алтая дендрохронологическими методами: авторефер. дис. ... канд. геогр. наук. Иркутск, 2002. 18 с.
- [38] Бочаров А.Ю., Савчук Д.А. Динамика радиального роста и плодоношения деревьев кедр и лиственницы на Южно-Чуйском хребте (Горный Алтай) // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии, 2015. № 14. С. 398–402.
- [39] Payette S., Filion L., Delwaide A., Bégün C. Reconstruction of tree-line vegetation response to long-term climate change // Nature, 1989, no. 341, pp. 429–432. <https://doi.org/10.1038/341429a0>
- [40] Бочаров А.Ю. Климатически обусловленный радиальный рост хвойных в верхней части лесного пояса Семинского хребта (Центральный Алтай) // Журнал Сибирского федерального университета. Серия Биология, 2009. Т. 2. № 1. С. 30–37.
- [41] Кирдянов А.В., Силкин П.П., Кнорре А.А., Круглов В.Б. Региональные особенности климатической реакции радиального прироста // Вестник Красноярского государственного университета, 2005. № 5. С. 79–84.
- [42] Магда В.Н., Ваганов Е.А. Климатический отклик прироста деревьев в горных лесостепях Алтае-Саянского региона // Известия РАН. Серия географическая, 2006. № 5. С. 92–100.
- [43] Blasing T., Duvick D. Reconstruction of precipitation history in North American Corn Belt using tree rings // Nature, 1987, no. 307, pp. 143–145. <https://doi.org/10.1038/307143a0>
- [44] Овчинников Д.В., Ваганов Е.А. Дендрохронологические характеристики лиственницы сибирской (*Larix sibirica* L.) на верхней границе леса в Горном Алтае // Сибирский экологический журнал, 1999. № 2. С. 145–152.
- [45] Панюшкина И.П., Овчинников Д.В. Климатически обусловленная динамика радиального прироста лиственницы в Горном Алтае // Лесоведение, 1999. № 6. С. 23–33.

Сведения об авторе

Добков Никита Михайлович — канд. с.-х. наук, ст. науч. сотр. ФГБУН «Институт мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения Российской академии наук» (ИМКЭС СО РАН), nikitadobkov@yandex.ru

Поступила в редакцию 19.03.2025.

Одобрено после рецензирования 16.07.2025.

Принята к публикации 03.08.2025.

CLIMATE CHANGE IMPACT ON SIBERIAN CEDAR (*PINUS SIBIRICA* DU TOUR) CONDITION AND RADIAL GROWTH IN NORTH-EASTERN ALTAI

N.M. Debkov

Institute of monitoring of climatic and ecological systems SB RAS, 10/3, Akademicheskiiy av., 634055, Tomsk, Russia

nikitadebkov@yandex.ru

This paper presents the results of a study of the state and dynamics of radial growth of Siberian pine forests in the Northeastern Altai near Lake Teletskoye. In total, 10 sample plots were laid and 100 core of wood were taken. The depth of the dendrochronological series was up to 300 years. The research covers 4 types of age structures in different parts of the forest belt of the mountains, from the low-mountain to the subalpine belts. A comprehensive assessment of the state of Siberian pine forests showed that the stands are healthy (the weighted average category of state ranges from 1,02 to 1,46 points for Siberian pine) and do not have pathological died, except for the effects of the *Polygraphus proximus* on damage to the fir trees. It was found that about 90 % of Siberian pine forests are affected by trunk rot, which is noted on average in 23 % of trees. This allows us to conclude that the natural dynamics of Siberian pine forests is predominantly wind-driven, which is confirmed by the predominance of forest stands of different ages (60 %). Modern climate change since 1976 has had an extremely positive impact on Siberian pine forests and has led to a significant increase in productivity due to increased radial growth of trunks in the stands. Depending on the type of age structure, this indicator varies, but on average the increase has increased by at least 2 times and continues to increase. Previously, during the entire growth period of the studied forest stands, the radial increase did not have such values. If the dynamics of humid climate warming are maintained, the state of Siberian pine forests should not deteriorate and Siberian pine will retain its position as a whole with the expansion of its habitat up the slopes of the mountains.

Keywords: climate change, North-Eastern Altai, radial growth, Siberian pine (*Pinus sibirica* Du Tour)

Suggested citation: Debkov N.M. *Vliyaniye izmeneniya klimata na sostoyaniye i radial'nyy prirost kedra sibirskogo (Pinus sibirica Du Tour) v kedrovnikakh Severo-Vostochnogo Altaya* [Climate change impact on Siberian cedar (*Pinus sibirica* Du Tour) condition and radial growth in North-Eastern Altai]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2025, vol. 29, no. 5, pp. 136–148. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-5-136-148

References

- [1] Budyko M.I. The future climate. *Eos*, 1972, v. 53, iss. 10, pp. 868–874. <https://doi.org/10.1029/EO053i010p00868>
- [2] *Predstoyashchie izmeneniya klimata* [Upcoming climate changes]. Eds. M.I. Budyko, Yu.A. Izrael', M.S. Makkraken, A.D. Khekt. S-Petersburg: Gidrometeoizdat, 1991, 271 p.
- [3] Budyko M.I., Efimova H.A., Lugina K.M. *Sovremennoye poteplenie* [Modern warming]. *Meteorologiya i gidrologiya* [Meteorology and hydrology], 1993, no. 7, pp. 29–34.
- [4] Bulygina O.N., Korshunova H.H., Kuznetsova V.N., Razuvaev V.N., Trofimenko L.T. *Analiz izmenchivosti klimata na territorii Rossii v poslednie desyatiletiya* [Analysis of climate variability in Russia in recent decades]. *Trudy VNIIGMI-MTsD* [Proceedings of the All-Russian Scientific Research Institute of Hydrometeorological Information – the World Data Center], 2000, iss. 167, pp. 3–15.
- [5] Neville N. Climate: Sawyer predicted rate of warming in 1972. *Nature*, 2007, no. 448(7157), p. 992. <https://doi.org/10.1038/448992c>
- [6] Carter J.G. Climate change adaptation in European cities. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2011, v. 3, no. 3, pp. 193–198.
- [7] Gea-Jae J., Ji Yoon K., Yuno D., Maurice L. Talking about Climate Change and Global Warming. *PLOS ONE*, 2015, v. 10, iss. 9, no. e0138996. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0138996>
- [8] Balsari S., Dresser C., Leaning J. Climate Change, Migration, and Civil Strife. *Curr Environ Health Rep.*, 2020, v. 7, iss. 4, pp. 404–414. <https://doi.org/10.1007/s40572-020-00291-4>
- [9] Glantz P., Fawole O.G., Ström J., Wild M., Noone K.J. Unmasking the Effects of Aerosols on Greenhouse Warming Over Europe. *J. of Geophysical Research: Atmospheres*, 2022, v. 127, iss. 22, no. e2021JD035889. <https://doi.org/10.1029/2021JD035889>
- [10] Seltzer A.M., Blard P.-H., Sherwood S.C., Kageyama M. Terrestrial amplification of past, present, and future climate change. *Sci. Adv.*, 2023, v. 9, iss. 6, no. eadf8119. <https://doi.org/10.1126/sciadv.adf8119>
- [11] Porfir'ev B., Kattsov V. *Posledstviya izmeneniy klimata v Rossii i adaptatsiya k nim (otsenka i prognoz)* [Implications of and Adaptation to Climate Change in Russia: Assessment and Forecast.]. *Voprosy ekonomiki* [Economic issues], 2011, no. 11, pp. 94–108.
- [12] Lipka O.N., Romanovskaya A.A., Semenov S.M. *Prikladnye aspekty adaptatsii k izmeneniyam klimata v Rossii* [Applied aspects of adaptation to climate change in Russia]. *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya* [Fundamental and applied climatology], 2020, v. 1, pp. 65–90.

- [13] Bogatov V.V., Baklanov P.Ya., Lozovskaya S.A., Shtets M.B. Climate change and health in the Russian Far East. Vestnik of the Far East Branch of the Russian Academy of Sciences, 2021, no. 1(215), pp. 5–21.
- [14] *Tretiy otsenochnyy doklad ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiyskoy Federatsii. Obshchee rezhyume* [The third assessment report on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation. General summary]. Ed. V.M. Kattsov. S-Petersburg: Naukoemkie tekhnologii, 2022, 124 p.
- [15] Danilchenko S.L. Climate change in Russia: historical dynamics. Agrarian History, 2022, no. 12, pp. 22–29.
- [16] Sukhova M.G., Rusanov V.I. *Klimaty landshaftov Gornogo Altaya i ikh otsenka dlya zhiznedeyatel'nosti cheloveka* [Climates of landscapes of the Altai Mountains and their assessment for human activity]. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2004, 150 p.
- [17] *Izmenenie klimata i ego vozdeystvie na ekosistemy, naselenie i khozyaystvo rossiyskoy chasti Altae-Sayanskogo ekoregiona: otsenochnyy doklad* [Climate change and its impact on ecosystems, population and economy of the Russian part of the Altai-Sayan ecoregion: assessment report]. Ed. A.O. Kokorin. Moscow: WWF, 2011, 168 p.
- [18] Kharlamova N.F., Ostanin O.V. *Obzor sovremennogo termicheskogo rezhima Altae-Sayanskogo ekoregiona i vozmozhnyye prognozy* [Review of Up-to-date Thermal Regime of the Altai-Sayan Ecoregion and Possible Prognosis]. Izvestiya AltGU [Izvestiya of Altai State University], 2012, no. 3(75), pp. 147–152.
- [19] Krylov G.V., Talantsev N.K., Kozakova N.F. *Kedr* [Siberian pine]. Moscow: Lesnaya prom-st', 1983, 215 p.
- [20] *Kedrovye lesa Sibiri* [Siberian pine forests in Siberia]. Ed. A.S. Isaev. Novosibirsk: Nauka, 1985, 257 p.
- [21] Krylov G.V., Shmonov A.M. *Sibirskiy keдр* [Siberian pine]. Kemerovo: Kn. izd-vo [Book Publishing House], 1985, 127 p.
- [22] Danchenko A.M., Bekh I.A. *Kedrovye lesa Zapadnoy Sibiri* [Siberian pine forests in West Siberia]. Tomsk: Tom. gos. un-t [Tomsk State University], 2010, 421 p.
- [23] Titov E.V. *Realizatsiya selektsionnoy programmy kedra sibirskogo na semennuyu produktivnost' v Gornom Altaye* [Implementation of the Siberian pine breeding program for seed productivity in the Altai Mountains]. Khvoynye boreal'noy zony [Coniferous boreal zones], 2010, v. 27, no. 1-2, pp. 194–198.
- [24] Il'ichev Yu.N. *Genetiko-selektsionnye ob'ekty kedra sibirskogo (Pinus sibirica Du Tour) v Respublike Altay: struktura, strategiya sovershenstvovaniya i ispol'zovaniya* [Genetic breeding facilities of Siberian pine (Pinus sibirica Du Tour) in the Altai Republic: structure, strategy for improvement and use]. Khvoynye boreal'noy zony [Coniferous boreal zones], 2012, v. 30, no. 1–2, pp. 87–91.
- [25] Petrova E.A., Goroshkevich S.N., Belokon' M.M., Belokon' Yu.S., Politov D.V. *Geneticheskoe raznoobrazie kedra sibirskogo Pinus sibirica Du Tour: raspredelenie vdol' shirotnogo i dolgotnogo profilya* [Distribution of the genetic diversity of the Siberian stone pine, Pinus sibirica Du Tour, along the latitudinal and longitudinal profiles]. Genetika [Russian journal of genetics], 2014, v. 50, no. 5, p. 538.
- [26] Alekseev I.A., Guseva O.N., Kurnenkova I.P., Cheshuin E.N. *Integrirovannaya sistema zashchity lesa* [Integrated forest protection system]. Yoshkar-Ola: izd-vo MarGTU, 2013, 416 p.
- [27] Yarmishko V.T., Gorshkov V.V., Stavrova N.I. *Vitalitnaya struktura Pinus sylvestris L. v lesnykh soobshchestvakh s raznoy stepen'yu i tipom antropogennoy narushennosti* [Pinus sylvestris L. vital state structure in the tree layer of pine forest with different degree and type of anthropogenic disturbance (kola peninsula)]. Rastitel'nye resursy [Plant resources], 2003, v. 39, iss. 4, pp. 1–18.
- [28] Tuzova V.K. *Metody monitoringa vreditel'ey i bolezney lesa* [Methods for monitoring forest pests and diseases]. Moscow: VNIILM, 2004, 200 p.
- [29] Rinn F. TSAP V3.5. Computer Program for Tree-Ring Analysis and Presentation. Heidelberg: Frank Rinn Distribution, 1996, 264 p.
- [30] Semechkin I.V. *Struktura i dinamika kedrovnikov Sibiri* [Structure and dynamics of Siberian pine forests in Siberia]. Novosibirsk: SO RAN, 2002, 253 p.
- [31] Sukhova M.G., Modina T.D. *Sovremennye izmeneniya temperaturnogo rezhima vozdukh i rezhima uvlazhneniya na Altaye, kak proyavlenie regional'nogo izmeneniya klimata* [Modern changes in air temperature and humidification in Altai as a manifestation of regional climate change]. Mir nauki, kul'tury, obrazovaniya [World of science, culture and education], 2007, no. 2, p. 14–18.
- [32] Syromyatina M.V. *Sovremennye izmeneniya klimata i elementov vysotnoy poyasnosti landshaftov Altaya* [Modern changes in climate and elements of altitudinal zonation of Altai landscapes]. Dis. Cand. Sci. (Geogr). Sankt-Peterburg, 2010, 18 p.
- [33] Rotanova I.N., Kharlamova N.F., Ostanin O.V. *Izmeneniya klimata Altaya za period instrumental'nykh issledovaniy* [Climate Change in the Altai during Instrumental Studies]. Izvestiya Altayskogo gosudarstvennogo universiteta [Izvestiya of Altai State University], 2012, iss. 2, no. 3, pp. 105–109.
- [34] Kharlamova N.F., Ostanin O.V. *Obzor sovremennogo termicheskogo rezhima Altae-Sayanskogo ekoregiona i vozmozhnyye prognozy* [Review of Up-to-date Thermal Regime of the Altai-Sayan Ecoregion and Possible Prognosis]. Izvestiya Altayskogo gosudarstvennogo universiteta [Izvestiya of Altai State University], 2012, iss. 3, no. 1, pp. 147–152.
- [35] Kocheeva N.A., Egisman A.I. *Osobennosti vremennogo khoda otkloneniy temperatury vozdukh ot srednikh pokazateley v Respublike Altay* [Features of time course of air temperatures deviations from average indexes in Republic Altai]. Vestnik rossiyskikh universitetov. Matematika [Russian universities reports. Mathematics], 2013, iss. 18, no. 2, pp. 635–638.
- [36] Chered'ko N.N., Zhuravlev G.G., Kuskov A.I. *Otsenka sovremennykh klimaticheskikh tendentsiy i sinkhronnosti ikh proyavleniya v Altayskom regione* [Estimation of modern climate trends and their synchronicity in the Altai region]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta [Tomsk state university journal], 2014, no. 379, pp. 200–208.
- [37] Ovchinnikov D.V. *Rekonstruktsiya izmeneniy klimata gor Altaya dendrokronologicheskimi metodami* [Reconstruction of climate changes in the Altai Mountains using dendrochronological methods]. Dis. Cand. Sci. (Geogr). Irkutsk, 2002, 18 p.

- [38] Bocharov A.Yu., Savchuk D.A. *Dinamika radial'nogo rosta i plodonosheniya derev'ev kedra i listvennitsy na Yuzhno-Chuyskom khrebe (Gornyy Altay)* [Dynamics of radial growth and fruiting of siberian pine and larch trees on the South Chuisky ridge (Altai Mountains)]. *Problemy botaniki Yuzhnoy Sibiri i Mongolii* [Problems of botany of Southern Siberia and Mongolia], 2015, no. 14, pp. 398–402.
- [39] Payette S., Filion L., Delwaide A., Bégin C. Reconstruction of tree-line vegetation response to long-term climate change. *Nature*, 1989, no. 341, pp. 429–432. <https://doi.org/10.1038/341429a0>
- [40] Bocharov A.Yu. *Klimaticheski obuslovlennyy radial'nyy rost khvoynykh v verkhney chasti lesnogo poyasa Seminskogo khreba (Tsentral'nyy Altay)* [Climatogenetic Radial Growth of Conifers in the Upper Forest Belt of the Seminsky Range (the Central Altai Mountains)]. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Seriya Biologiya* [J. of Siberian Federal University. Biology], 2009, v. 2, no. 1, pp. 30–37.
- [41] Kirdeyanov A.B., Silkin P.P., Knorre A.A., Kruglov V.B. *Regional'nye osobennosti klimaticheskoy reaktsii radial'nogo prirosta* [Regional features of the climatic response of radial growth of larch in the north of Central Siberia and the Urals]. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Krasnoyarsk State University], 2005, no. 5, pp. 79–84.
- [42] Magda V.N., Vaganov E.A. *Klimaticheskiy otклик prirosta derev'ev v gornykh lesostepyakh Altae-Sayanskogo regiona* [Climate Response on the Mountain Forest-Steppe in Altay-Sayany Region]. *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya* [Izvestiya rossiskoi akademii nauk. seriya geograficheskaya], 2006, no. 5, pp. 92–100.
- [43] Blasing T., Duvick D. Reconstruction of precipitation history in North American Corn Belt using tree rings. *Nature*, 1987, no. 307, pp. 143–145. <https://doi.org/10.1038/307143a0>
- [44] Ovchinnikov D.V., Vaganov E.A. *Dendrokronologicheskie kharakteristiki listvennitsy sibirskoy (Larix sibirica L.) na verkhney granitse lesa v Gornom Altae* [Dendrochronological characteristics of Siberian larch (*Larix sibirica* L.) at the upper forest boundary in the Altai Mountains]. *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal* [Contemporary Problems of Ecology], 1999, no. 2, pp. 145–152.
- [45] Panyushkina I.P., Ovchinnikov D.V. *Klimaticheski obuslovlennaya dinamika radial'nogo prirosta listvennitsy v Gornom Altae* [Climatically determined dynamics of radial growth of larch in the Altai Mountains]. *Lesovedenie* [Russian J. of Forest Science], 1999, no. 6, pp. 23–33.

This study was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (state contract to the Institute of Microbiological Studies and Ecology of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, project registration number 1022042600048-9-1.5.1).

Author's information

Debkov Nikita Mihailovich — Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher of the Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, nikitadebkov@yandex.ru

Received 19.03.2025.

Approved after review 16.07.2025.

Accepted for publication 03.08.2025.

СОСТОЯНИЕ ТОПОЛЯ БАЛЬЗАМИЧЕСКОГО (*POPULUS BALSAMIFERA* L.) И ТОПОЛЯ БЕЛОГО (*POPULUS ALBA* L.) В УРБОЭКОСИСТЕМАХ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ

Е.М. Рунова[✉], И.А. Гарус

ФГБОУ ВО «Братский государственный университет», Россия, 665709, г. Братск, ул. Макаренко, д. 40
runova0710@mail.ru

Рассмотрены существенные изменения состояния представителей рода Тополь в городских урбоэко-системах Иркутской области, связанные с явлениями глобального потепления. Установлено, что климат за период 2021 по 2024 гг. претерпел существенные изменения — среднегодовые температуры повысились на 1,3...1,5 °С. С 2023 г. посадки тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.) и тополя белого (*Populus alba* L.) стали подвергаться грибным заболеваниям, которые ранее массово не наблюдались. Представлены результаты исследования листовых пластинок тополя бальзамического, тополя белого и частично осины за 2023–2024 годы. Определена доля пораженных болезнями растений относительно общего количества обследованных деревьев. Выявлено поражение бурой пятнистостью листьев у 50...60 % деревьев после эпифитотии листовой ржавчиной тополя. Обнаружена ответная реакция на болезнь листьев тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.) в виде обильного плодоношения и повышенного образования поросли. В 2024 г. отмечено незначительное поражение листовой ржавчиной листьев тополя белого (*Populus alba* L.). Проведено изучение прироста тополя по высоте, диаметру ствола и боковому линейному приросту. Установлена зависимость прироста от степени формовки деревьев, направления по сторонам света, а также от годового хода температур. Отмечен наибольший прирост в самый теплый 2024 г. Обнаружена высокая порослевая способность тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.), которая позволяет отнести данный вид к инвазионным. Выявлена наибольшая устойчивость тополя белого к изменяющимся природным условиям, поражению грибными заболеваниями, а также практическое отсутствие образования поросли и формирование меньшего количества сережек и, соответственно, пуха в условиях Иркутской области.

Ключевые слова: потепление, климат, тополь бальзамический (*Populus balsamifera* L.), тополь белый (*Populus alba* L.), ржавчина листьев, прирост, плодоношение

Ссылка для цитирования: Рунова Е.М., Гарус И.А. Состояние тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.) и тополя белого (*Populus alba* L.) в урбоэкосистемах Иркутской области // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2025. Т. 29. № 5. С. 149–163. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-5-149-163

Оценка состояния тополей в городских условиях признается актуальной, поскольку во многих городах России тополь преобладает в их озеленении. Тополя являются живым фильтром в условиях техногенного загрязнения. Уровень поглощаемых тополем газообразных и пылевидных частиц в разы превосходит многие иные древесные породы, используемые в озеленении — он задерживает в своих кронах более 30 кг пыли и сажи за год [1–3].

В промышленных городах Сибири с высоким загрязнением аэрозолями и пылью представители рода Тополь имеют неопределимое экологическое значение. Кроме поглощения пылевидных и газообразных частиц, они морозоустойчивые и быстрорастущие деревья. В Сибири в озеленении широко применяют та-

кие виды тополей, как тополь бальзамический (*Populus balsamifera* L.), тополь черный (*Populus nigra* L.), тополь белый (*Populus alba* L.). В Братске преобладает тополь бальзамический, который составляет от 67 до 70 % общего количества древесных растений [3–6]. В Иркутске тополь бальзамический составляет более 50 %, тополь белый — 5 % общего количества произрастающих деревьев. Наряду с тополе бальзамическим (*Populus balsamifera* L.) из рода *Populus* (подрод Бальзамические тополя *Balsamifera*) на территории городов Иркутск и Братск в небольшом количестве встречаются тополь белый или тополь серебристый (*Populus alba* L.) и тополь сибирский серебристый, имеющий пирамидальную форму, полученный в результате скрещивания тополя белого и тополя Болле (*Populus alba* L. × *Populus Bolleana* Lauche). Тополь белый (*Populus alba* L.) введен в озеленение во многих городах Сибири

(Новосибирск, Красноярск, Абакан) [2]. Тополь белый и осина (*P. tremula* L.) относятся к подроду Белые тополя (*Populus*). Исследования состояния рода Тополь проводились также за рубежом, многие авторы [7–13], отмечали его быстрый рост, высокую степень повреждения болезнями и вредителями. Длительное время в условиях резко континентального климата тополя редко массово болели и подвергались воздействию вредителей. Тополя, произрастающие в городских условиях, отличаются высокой степенью устойчивости к различным неблагоприятным факторам в окружающей среде и различным болезням. Однако в последнее время стали появляться сведения о снижении жизнестойкости тополей.

Цель работы

Цель работы — исследование состояния представителей рода Тополь в условиях городов Иркутской области на примере Иркутска и Братска, их устойчивости к грибным заболеваниям, влиянию массового поражения листовой ржавчиной тополя (*Melampsora larici-populina* Kleb.), бурой пятнистости листьев (*Marssonina populi* Sacc.) на общее состояние насаждений, а также на их прирост и плодоношение.

Материалы и методы

В целях изучения состояния тополя бальзамического и тополя белого на современном этапе проведено сопоставление природно-климатических условий городов Иркутской области за период с 2021 по 2024 гг. [14]. Обследованы деревья и листья на наличие наиболее распространенных заболеваний: ржавчины и бурой пятнистости с помощью сделанных фотографий и микроскопа, выполнено уточнение типа болезни и рассчитана доля повреждения листовых пластинок, определено и соотношение (в процентах) пораженных деревьев относительно общего количества обследованных деревьев. Кроме того, проведена сравнительная оценка плодоношения тополей в 2023 и 2024 гг. путем высушивания собранных сережек до абсолютно сухого состояния (а. с. с.), измерены морфометрические показатели, масса сережек и коробочек, прирост за 2021–2024 гг. по высоте для неформованных и формованных деревьев и поросли. В частности, определен боковой прирост по длине и диаметру ствола по методике И.В. Кармановой [15]. Возраст клонов тополя бальзамического определяли по количеству годичных колец на спилах. При диаметре ствола 10 см и более возраст определялся по сердцевинам,

взятым возрастным буровом на высоте 10 см от земли. Категории состояния деревьев устанавливались в соответствии с Правилами [16].

Исследования проводились в течение 2021–2024 гг. в наиболее крупных городах Иркутской области (Иркутск и Братск). В целях определения поражения деревьев тополя листовой ржавчиной было исследовано 1924 дерева и 2560 листьев тополя бальзамического, 1456 листьев тополя серебристого, 567 листьев осины. Оценка плодоношения проводилась в течение 2023–2024 гг. Всего обследовано 290 деревьев для оценки плодоношения тополя бальзамического (1260 сережек) и тополя белого (784 сережки). Оценка категорий состояния тополя проведена на 1622 деревьев по данным 2021 и 2024 гг.; в 2021 г. обследовано 579 в 2024 г. — 1043 дерева. Прирост по высоте тополя бальзамического и тополя белого определялся для совокупности исследованных деревьев, численность которых составила 1750 экземпляров. Исследования бокового прироста проводили на 10 модельных растениях по 5 деревьев каждого вида (*Populus balsamifera* L. и *Populus alba* L.), у которых измеряли по 16 ветвей нижней трети кроны по периметру. Измеряли по 4 боковых побега с каждой из четырех сторон света (север, восток, юг и запад). Всего измерено 640 боковых побегов. Морфометрические показатели клонов тополя бальзамического в условиях г. Братска определялись по материалам измерения 563 порослевых экземпляров.

Результаты и обсуждение

В период последних десятилетий все более заметно проявляется глобальное потепление, в частности в условиях Сибири. Прослеживается более интенсивная динамика повышения температурных значений, чем в европейской части Российской Федерации (табл. 1).

Как следует из табл. 1, за период с 2021 по 2024 гг. среднегодовая температура воздуха повысилась на 1,5 °С, средняя температура самого холодного месяца (января) повысилась на 4,7 °С. Иркутск расположен несколько южнее, однако и в нем прослеживается увеличение среднегодовой температуры на 1,3 °С (с 1,6 до 2,9 °С).

Такие существенные изменения отразились на росте и развитии многих растений, в том числе тополей, в городских посадках. Данные особенности климата способствуют появлению грибковых заболеваний на листьях, в частности ржавчины, вызываемой грибами рода *Melampsora* (*Melampsora larici-populina* Kleb., *Melampsora alli-populina* Kleb., *Melampsora*

Т а б л и ц а 1

**Динамика температур в г. Братск (°С) по месяцам
за период 2021–2024 гг., по данным метеостанции**

Temperature dynamics in Bratsk (°C) by month for the period 2021–2024, according to weather station data

Год	Ян-варь	Фев-раль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Ав-густ	Сен-тябрь	Ок-тябрь	Но-ябрь	Де-кабрь	Средне-годовая температура
2021	–23,4	–17,5	–7,2	0,4	6,2	14,7	20,0	16,8	7,8	2,4	–4,8	–16,2	–0,1
2022	–17,2	–16,7	–8,6	2,2	10,6	15,9	17,2	12,9	7,7	2,1	–7,8	–17,3	0,1
2023	–19,9	–13,7	–5,0	–2,4	7,3	15,4	19,8	17,8	11,2	4,9	–9,2	–19,1	0,6
2024	–18,7	–18,9	–6,1	2,0	10,0	15,8	21,8	18,3	7,7	1,2	–4,2	–11,9	1,4

Т а б л и ц а 2

**Суммарный коэффициент погоды по городам Братск и Иркутск
за июль периода 2021–2024 гг.**

Total weather coefficient for the cities of Bratsk and Irkutsk for July 2021–2024

Суммарный коэффициент погоды	2021		2022		2023		2024		Среднее много-летнее значение
	Абсо-лютное значение	Относи-тельное значение							
Минимальная температура воздуха, °С									
Братск	8,5	0,62	3,8	0,28	10,0	0,73	11,6	0,85	13,7
Иркутск	8,7	0,64	8,4	0,62	10,5	0,78	12,7	0,94	13,5
Количество осадков, мм									
Братск	38	0,63	149	2,48	32	0,53	84	1,4	60,0
Иркутск	131	1,23	110	1,04	84	0,79	105	0,99	106,0
Суммарный коэффициент погоды									
Братск	0,39		0,69		0,39		1,19		–
Иркутск	0,78		0,64		0,61		0,93		–

pinitorgua Rostr. и *Melampsora larici-tremulae* Kleb.), бурой пятнистости (возбудитель — гриб *Marssonina populi* Sacc.).

Исследованиями установлено [17], что в 2023 г. в большинстве городов Иркутской области впервые произошла эпифитотия листовенной ржавчины тополя (ЛРТ) бальзамического (возбудитель *Melampsora larici-populina* Kleb.). В целях сопоставления поражаемости различных видов тополей был выполнен анализ состояния всех видов рода *Populus*, встречающихся в городских посадках в пределах Иркутской области. Тополь белый (*Populus alba* L.) оказался наиболее устойчивым к ЛРТ. На обследованных деревьях не были зафиксированы следы поражения ржавчиной. Следует отметить, что тополь белый (*Populus alba* L.) не так широко распространен в городских насаждениях, как тополь бальзамический. К тому же осина

(*P. tremula* L.) практически не была повреждена ржавчиной, лишь на отдельных листьях были замечены единичные урединопустулы [17].

Считается, что возникновение массового поражения листовой ржавчиной зависит от температуры воздуха и количества осадков в июле, когда проявляются признаки заболевания. В связи с этим, многие авторы рекомендуют определять суммарный коэффициент погоды за июль или в целом за вегетационный период (табл. 2) [18–22].

Суммарный коэффициент погоды за июль 2021–2024 гг. составил по Братску — 0,39 (2021), 0,69 (2022), 0,39 (2023) и 1,19 (2024), Иркутску — 0,78 (2021), 0,64 (2022), 0,61 (2023) и 0,93 (2024), что достаточно низко. При расчете учитывались минимальные значения температуры воздуха, которые в пределах Иркутской области могут достигать всего +3,8 °С в июле.

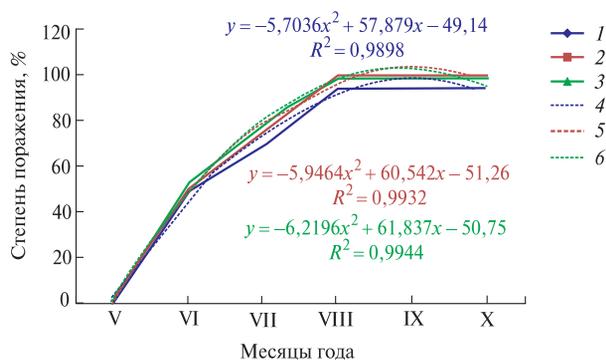


Рис. 1. Динамика поражения деревьев *Populus balsamifera* L. листовой ржавчиной (*Melampsora larici-populina* Kleb.) в 2023 г. в условиях Иркутской области: 1 — степень повреждения неформованных деревьев; 2 — степень повреждения формованных деревьев; 3 — степень повреждения поросли; 4–6 — линии тренда в виде полиномиальных кривых второй степени и уравнения линий тренда

Fig. 1. Dynamics of leaf rust (*Melampsora larici-populina* Kleb.) damage to *Populus balsamifera* L. trees in 2023 in the Irkutsk region: 1 — degree of damage to unshaped trees; 2 — degree of damage to shaped trees; 3 — degree of damage to shoots; 4–6 — trend lines in the form of second-degree polynomial curves and trend line equations

В условиях Братска летом выпадает малое количество осадков — 32...38 мм, что подтверждает сравнительно небольшое значение суммарного коэффициента погоды за исследуемый период. Согласно исследованиям И.И. Минкевича и др. [18–20] при значениях данного коэффициента менее 1,0 наблюдается стадия депрессии заболевания, более 1,0 — происходит эпифитотия болезни. Согласно этому, в 2023 г. в Братске и Иркутске не должна была наступить эпифитотия, а 2024 г., возможно, был бы под массовым поражением ЛРТ, но именно в 2023 г. при низком значении суммарного коэффициента погоды случилась эпифитотия, т. е. прогнозирование не оправдалось. По этой причине в целях подтверждения прогнозов развития ЛРТ в Иркутской области необходим постоянный контроль состояния деревьев на предмет заболевания ЛРТ и выявление критериев оценки природных и климатических факторов для прогнозирования эпифитотий непосредственно для Иркутской области с ее резко континентальным климатом.

При оценке поражения грибами *Melampsora larici-populina* Kleb. отдельно учитывались деревья с неформованной и формованной кронами, а также поросль тополя бальзамического, широко распространенная вблизи от формованных или погибших деревьев.

Как видно из рис. 1, первые признаки болезни проявились в начале июня на вегетативных экземплярах тополя бальзамического, степень пораженных деревьев в это время не превышало 50%. В июле резко увеличилось количество пораженных деревьев, при этом менее поврежденными оказались неформованные деревья, а формованные деревья и поросль были более сильно поражены грибами *Melampsora larici-populina* Kleb, что подтверждает ослабление защитных свойств растений, подвергающихся формовке, а также вегетативных клонов с крупными молодыми листьями. В остальные месяцы вегетационного периода доля пораженных деревьев оставалась на уровне июля. Именно по этой причине июль был взят за основу оценки состояния и прогнозирования протекания заболевания.

Как отмечают многие авторы [22–30], листья рода Тополь сильно подвержены грибным заболеваниям (рис. 2).

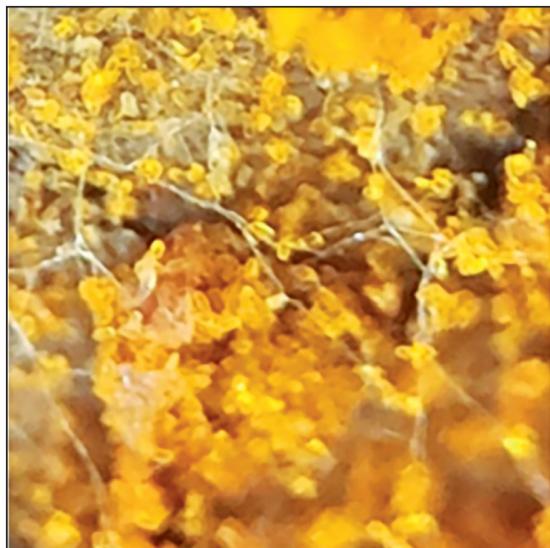
В конце июля — начале августа 2023 г. началась дефолиация крон, вплоть до их полного оголения. В августе — начале сентября в связи с теплой и довольно влажной погодой было отмечено набухание и разverzание почек, появление листьев. Таким образом, произошли существенные изменения в фенологических фазах тополя бальзамического, что в результате привело к ослаблению его популяции в начале 2024 г.

В 2024 г. продолжались исследования фитосанитарного состояния насаждений различных видов рода Тополь в Иркутске и Братске. После массового поражения ЛРТ листья стали интенсивно поражаться бурой пятнистостью. Взрослые деревья тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.) оказались пораженными на 50...60% бурой пятнистостью листьев (возбудитель — гриб *Marssonina populi* Sacc.) (рис. 3, а), что вызвало раннее опадение листьев у сильно пораженных деревьев. Молодая поросль этого тополя (*Populus balsamifera* L.), кроме того, была частично поражена ЛРТ. У тополя белого в 2024 г. проявились признаки поражения грибами *Melampsora larici-populina* (рис. 3).

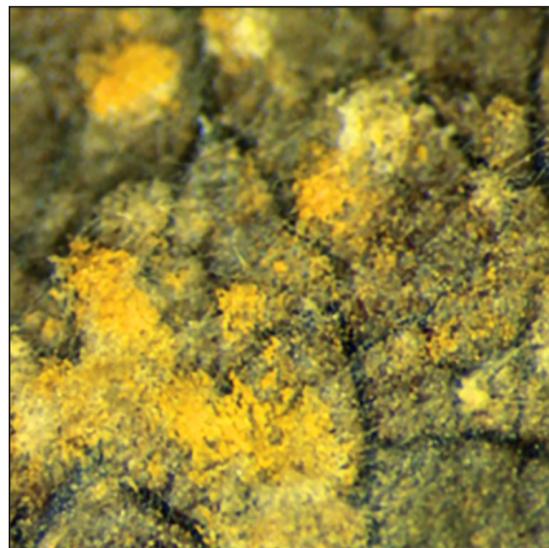
На листьях тополя белого (*Populus alba* L.) с наружной и внутренней стороны появились урединопустулы, содержащие одноклеточные урединоспоры (рис. 4).

В августе на верхней стороне пораженных листьев образуется телиостадия, которая имеет вид темно-коричневых, почти черных коростинков (см. рис. 3).

Как результат общего ослабления деревьев тополя бальзамического после эпифитотии летом 2024 г. отмечено обильное плодоношение и пушение тополя.



а



б

Рис. 2. Вид пораженных листовых пластинок тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.), пораженных грибами *Melampsora larici-populina*: а — на внутренней стороне листа видны скопления урединопустул; б — на наружной стороне листа образуется мозаичная окраска с частично выступающими урединопустулами

Fig. 2. The appearance of the affected leaf blades of *Populus balsamifera* L affected by *Melampsora larici-populina*: а — clusters of oidium pustules are visible on the inner side of the leaf; б — the outer side of the leaves shows a mosaic pattern with partially protruding oidium pustules



а



б



в

Рис. 3. Основные виды повреждения тополей в 2024 г.: а — бурая пятнистость (*Marssonina populi* Sacc.) на листьях тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.); б — наружная сторона листьев тополя белого (*Populus alba* L.); в — внутренняя поверхность листьев тополя белого (*Populus alba* L.), пораженного ЛРТ (*Melampsora larici-populina* Kleb.)

Fig. 3. The main types of damage to poplars in 2024: а — leaf rust (*Marssonina populi* Sacc.) on the leaves of *Populus balsamifera* L; б — the outer side of the leaves of *Populus alba* L.; в — the inner surface of the leaves of *Populus alba* L., affected by leaf rust (*Melampsora larici-populina* Kleb.)

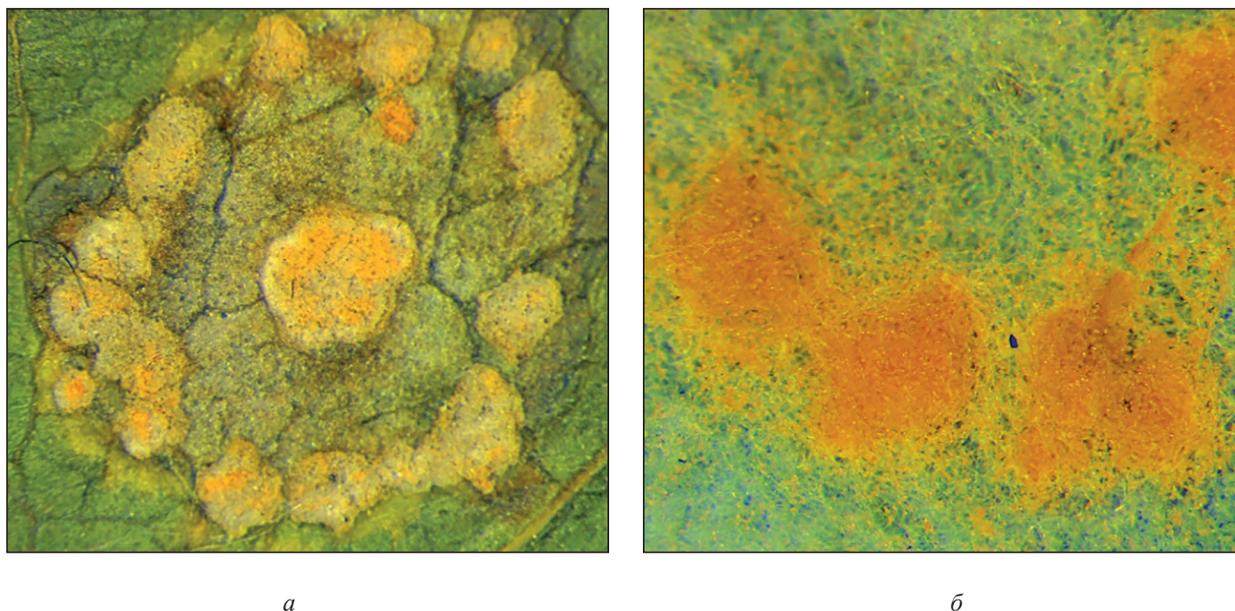


Рис. 4. Вид поражения листьев тополя белого *Populus alba* L. ЛРТ: *a* — наружная сторона листа; *б* — внутренняя сторона листа

Fig. 4. The type of damage to the leaves of *Populus alba* L. by leaf rust under a microscope: *a* — the outer side of the leaf; *б* — the inner side

Т а б л и ц а 3

Морфометрические показатели сережек тополя бальзамического *Populus balsamifera* L и тополя белого *Populus alba* L.

Morphometric parameters of *Populus balsamifera* L and *Populus alba* L. catkins

Показатель	Тополь бальзамический		Тополь белый	
	2023	2024	2023	2024
Длина сережек, мм	119,52 ± 4,71	127,30 ± 5,38	98,64 ± 3,99	9,93 ± 0,41
Длина коробочек, мм	4,06 ± 0,18	5,12 ± 0,24	2,98 ± 0,13	4,43 ± 0,18
Ширина коробочек, мм	5,23 ± 0,28	7,01 ± 0,32	2,07 ± 0,09	2,12 ± 0,10
Среднее количество коробочек на сережках, шт.	18,8 ± 0,67	19,4 ± 0,81	12,4 ± 0,51	15,7 ± 0,63
Масса сережек в абсолютно сухом состоянии, г	0,398 ± 0,014	0,737 ± 0,030	0,299 ± 0,022	0,383 ± 0,017
Масса коробочек в абсолютно сухом состоянии, г	0,024 ± 0,001	0,038 ± 0,001	0,024 ± 0,001	0,024 ± 0,001

Массовое поражение тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.) ЛРТ привело к изменениям плодоношения деревьев (табл. 3).

Как видно из табл. 3, после эпифитотии у тополя бальзамического существенно повысилась плодоносность, выразившаяся в значительном увеличении его обилия, размеров и количества сережек, коробочек с семенами.

За период исследований (2021–2024) в связи с ослаблением тополя бальзамического под воздействием массового распространения болезни листьев отмечено ухудшение жизненного состояния деревьев, выразившееся в снижении балла категории посадок тополя. Так, по иссле-

дованиям 2021 г. и 2024 г., изменения в категориях состояния модельных деревьев составило в среднем 12,6 %. Всего в 2021 г. обследовано 579 деревьев, в 2024 г. — 1043 дерева (табл. 4).

Как следует из табл. 4, средняя категория состояния исследованных деревьев ухудшилась с 2,30 до 2,59 баллов, т. е. состояние деревьев тополя бальзамического в 2021 г. можно охарактеризовать как ослабленное, в 2024 г. состояние оценивается как сильно ослабленное. В 2024 г. существенно снизилось процентное соотношение здоровых деревьев — на 10,9 %, что произошло вследствие снижения качества кроны, которое выражается в изреживании кроны

Т а б л и ц а 4

Оценка жизненного состояния деревьев тополя бальзамического по категориям состояния

Assessment of the vital condition of balsamic poplar trees by condition categories

Категория состояния	Характеристика категории	2021		2024	
		Количество деревьев, шт.	Доля, %	Количество деревьев, шт.	Доля, %
1	Здоровые (без признаков ослабления)	107	18,5	79	7,6
2	Ослабленные	273	47,3	513	49,1
3	Сильно ослабленные	123	21,3	251	24,1
4	Усыхающие	67	11,4	152	14,6
5	Погибшие	9	1,8	48	4,6
Средний балл категории состояния		2,3		2,59	

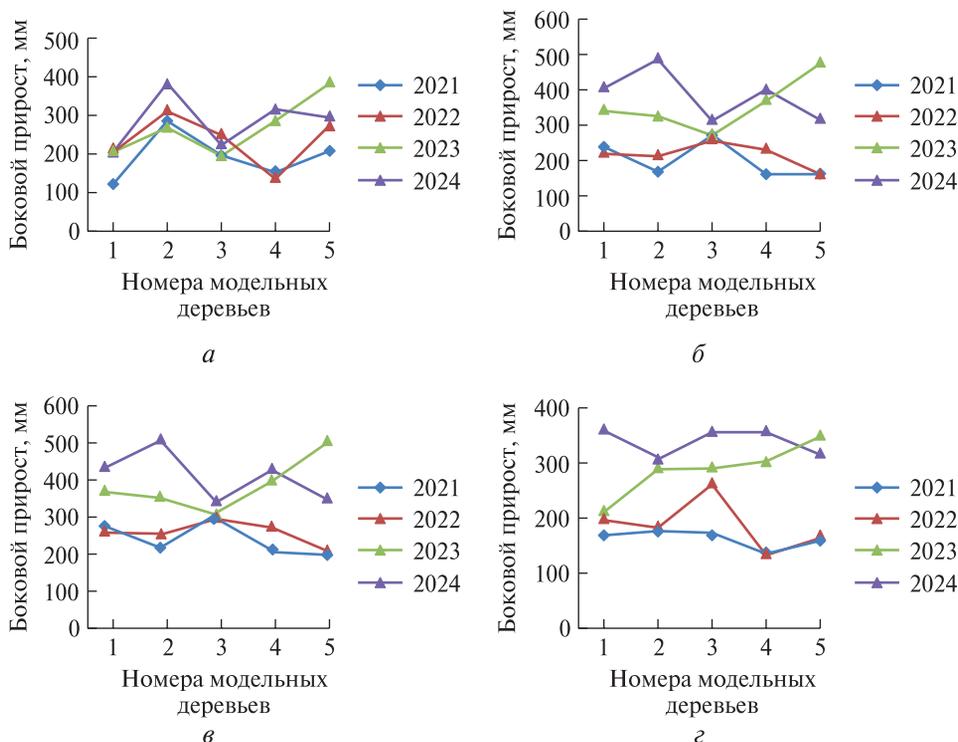


Рис. 5. Прирост боковых побегов тополя белого (*Populus alba* L.): *a* — в северном направлении; *б* — в восточном; *в* — в южном; *г* — в западном направлении

Fig. 5. Lateral shoots growth of *Populus alba* L.: *a* — in the northern direction; *б* — in the eastern direction; *в* — in the southern direction; *г* — in the western direction

и изменении цвета листьев в результате поражения листьев бурой пятнистостью, последующего скручивания и усыхания листы. Увеличилось количество ослабленных деревьев — на 1,8 %, количество сильно ослабленных возросло на 2,8 % в связи с проявлением угнетения кроны, а также ствола, которое выражается в многочисленных водяных побегах. Водяные побеги встречаются практически на всех деревьях тополя, подвергшихся формовке кроны. Они

приводят к ослаблению деревьев и снижению декоративности посадок. Также произошло увеличение количества усыхающих и погибших деревьев — соответственно на 2,9 и 2,8 %. По причине ослабления деревьев начали усыхать кронированные и деревья, подвергшиеся радикальной формовке кроны.

Состояние тополей отразилось на приросте [21–33]. Исследованы 10 модельных растений по пять деревьев каждого вида, у которых

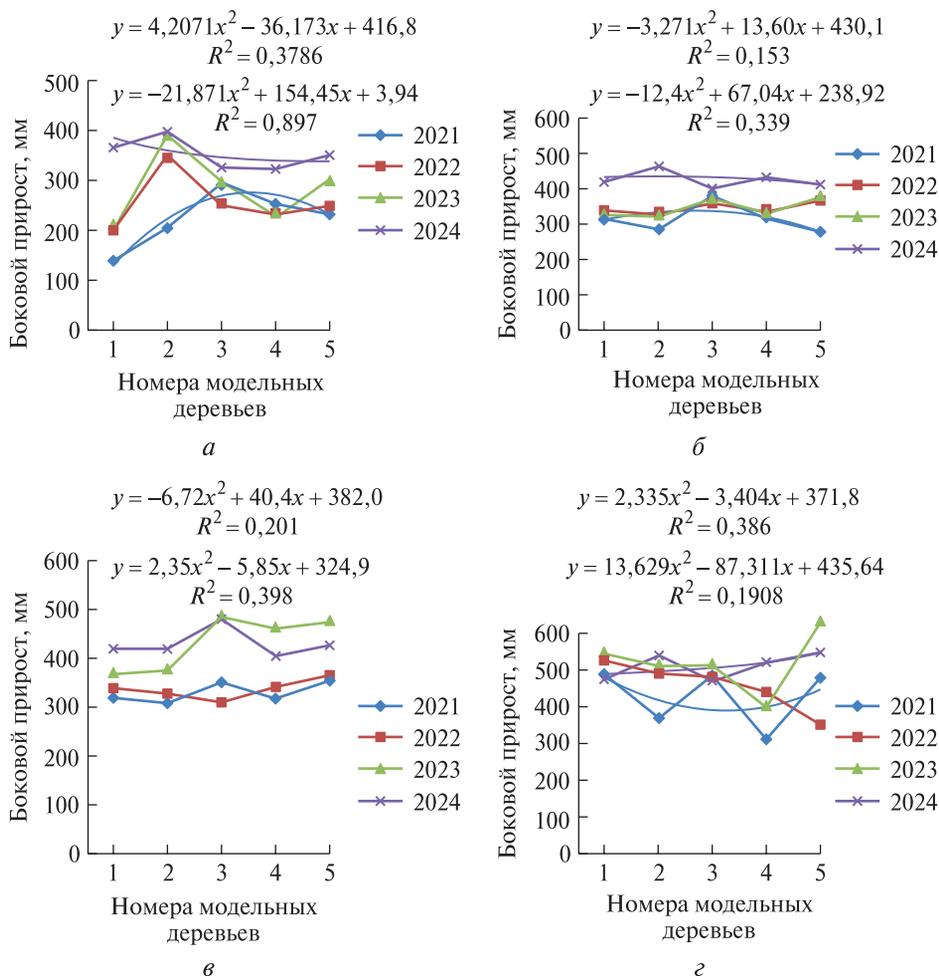


Рис. 6. Боковой прирост тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.): а — в северном направлении; б — в восточном; в — в южном; з — в западном направлении
Fig. 6. Lateral growth of *Populus balsamifera* L.: а — in the northern direction; б — in the eastern direction; в — in the southern direction; з — in the western direction

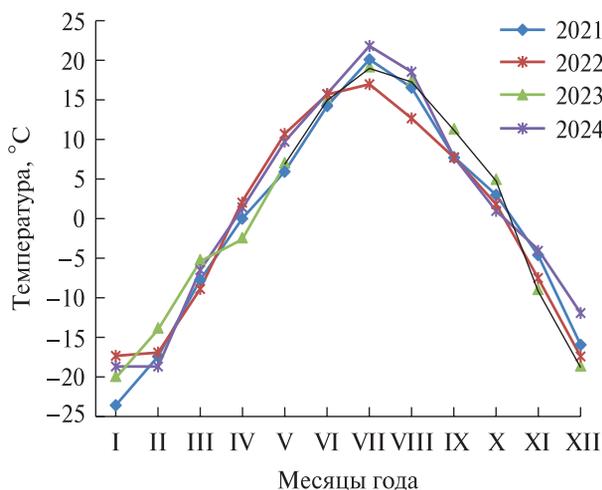


Рис. 7. Годовой ход температуры по метеостанции (Братск)
Fig. 7. Annual cycle of temperature at Bratsk weather station

измеряли по 16 ветвей нижней трети кроны по периметру. Измеряли по четыре боковых побега с каждой из четырех сторон света. Годичный прирост боковых побегов в длину и по диаметру измеряли ежегодно (2021–2024) с помощью линейки и электронного штангенциркуля с точностью до 0,01 мм.

Прирост боковых побегов тополя бальзамического значительно выше, чем прирост тополя белого, при этом, приросты по разным сторонам света несколько отличаются (рис. 5, рис. 6). Как видно из рис. 5 и 6, наименьший боковой прирост отмечен в северном и западном направлениях, наибольший — в южном и восточном. Прирост у тополя бальзамического выше, чем у тополя белого в среднем на 15...20 %. В целях установления влияния климатических факторов на боковой прирост составлен годовой ход температуры по метеостанции (Братск) с 2021 по 2024 гг. (рис. 7).

На рис. 7 видно, что в 2024 г. была самая высокая среднегодовая температура воздуха, а 2021 г. оказался наиболее холодным, чем другие годы исследования, что отражает динамика прироста.

Прирост по высоте тополя бальзамического и тополя белого определялся для совокупности исследованных деревьев, численность которых составила 1750 экземпляров. Для установления среднего общего прироста дерева подразделили на неформованные, формованные и молодую поросль (табл. 5).

Т а б л и ц а 5

Сравнительный анализ среднего общего прироста по высоте и диаметру ствола *Populus balsamifera* L. и *Populus alba* L.

Comparative analysis of the average total height and diameter growth of *Populus balsamifera* L. and *Populus alba* L.

Показатель	Деревья	Тополь бальзамический	Тополь белый
Средний ежегодный прирост по высоте, м/год	Неформованные	0,59	0,39
	Формованные	0,78	–
	Поросль	1,14	–
Средний ежегодный прирост по диаметру ствола, мм/год	Неформованные	6,72	–
	Формованные	4,93	–
	Поросль	41,1	–

Как видно из табл. 5, тополь бальзамический (*Populus balsamifera* L.) дает большой прирост по высоте — от 0,59 до 1,14 м/год, что для условий резко континентального климата является очень высоким показателем. Прирост по диаметру ствола также достаточно высок. Прирост тополя белого приведен только для неформованных деревьев, поскольку деревья не подвергались формовке, поросль его также не зафиксирована для условий Братска.

Тополь — единственное дерево, которое систематически подвергается кронированию и санитарным обрезкам в городских условиях, преимущественно вдоль улично-дорожной сети, хотя отдельные деревья жилых кварталов, в парках. Кронирование, т. е. радикальная обрезка, зачастую проводится с полной обрезкой ветвей выше определенного уровня (3–4 м), причем после санитарной обрезки от дерева может остаться пень. Подобные мероприятия значительно сокращают срок жизни дерева, открывают его проводящие ткани для гнили и фактически уничтожают пыле- и шумозащитную, а также декоративную функцию.

Средний возраст посадок тополя бальзамического в Братске составляет 60...70 лет — город молодой, посадки проводились одновременно с его строительством. В Иркутске, старинном сибирском городе, имеются тополя старшего возраста. Продолжительность жизни тополей в условиях промышленного загрязнения окружающей природной среды и рекреационной нагрузки сокращается на 20...30 лет. После 1990 гг. организованных посадок тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.) в Братске и Иркутске не было.

Однако тополь бальзамический активно распространялся здесь благодаря вегетативному размножению. Отсюда возникает мнение об отнесении тополя бальзамического к категории инвазионных видов [34–38]. В Сибирском федеральном округе (Кемеровская, Омская и Томская области) тополь бальзамический определен как инвазионный вид категории 3 — «чужеродные виды, расселяющиеся и натурализующиеся в настоящее время в нарушенных местообитаниях; в ходе дальнейшей натурализации некоторые из них смогут внедриться в полустественные и естественные сообщества» [34–38].

Исследования [40] показали, что в Иркутске как инвазионный вид наиболее распространен клен ясенелистный (*Acer negundo* L.), второе место среди инвазионных видов занимает тополь бальзамический (по данным 2017 г.). В Братске более суровый климат, поэтому тополь бальзамический, родиной которого является Северная Америка, успешно прошел натурализацию и проявляет типичные признаки инвазионного вида. Тополь бальзамический, широко используемый при озеленении городов Иркутской области с советских времен, только в 2008 г. был включен во флору области и отнесен к культивируемым и натурализующимся видам [40].

После формовки кроны, удаления аварийных деревьев тополь бальзамический (*Populus balsamifera* L.) дает многочисленные корневые отпрыски. Исследования корневой системы тополя бальзамического проводились методом раскопок и по измерению расстояния последних клонов от материнского дерева. Установлена положительная корреляция между высотой дерева и размером корневой системы тополя бальзамического. Экспериментальным путем определена длина боковых корней, примерно равная высоте дерева. Корневая система тополя бальзамического очень мощная, в городских условиях боковые корни часто залегают неглубоко, при этом часто разрушают плиточное и асфальтовое покрытие своими корнями. Как показали наши исследования, одно дерево дает

Т а б л и ц а 6

Морфометрические показатели клонов тополя бальзамического в условиях Братска
Morphometric parameters of balsam poplar clones in the conditions of Bratsk

Показатель	Возраст, лет					
	1	2	3	4	5	8
Диаметр на высоте 1,3 м от поверхности земли, см	–	1,2 ± 0,09	3,2 ± 0,19	3,9 ± 0,21	5,7 ± 0,38	11,3 ± 0,98
Высота, м	1,4 ± 0,91	2,1 ± 0,17	2,9 ± 0,19	3,6 ± 0,32	4,3 ± 0,61	6,2 ± 0,56
Высота начала кроны, м	–	–	–	0,5 ± 0,01	1,7 ± 0,08	2,0 ± 0,11
Особенности габитуса, жизненная форма	Кустарниковая форма, основной ствол не выделен	Начинается формирование основного ствола, крона опущена до земли	Сформирован ровный, малосбежистый ствол, крона опущена до земли	Форма дерева, крона приподнята над землей	Форма дерева, крона приподнята над землей	Форма дерева, крона приподнята над землей

поросль в радиусе 10–25 м в количестве до 40...50 шт. Корневые отпрыски могут пробивать асфальт и прорасти на тротуарах. Вегетативная поросль имеет большой прирост по высоте. Зафиксирован максимальный ежегодный прирост поросли — до 126 см/год. Выполнен эксперимент, в котором 23 июля 2023 г. была полностью срезана поросль и через месяц — 23 августа 2023 г. — определена высота отросших побегов. За 30 сут. порослевые побеги достигли высоты 96...118 см. Из поросли к пяти годам вырастают полностью сформированные деревья высотой до 5 м и диаметром ствола на высоте 1,3 м от поверхности земли 10...12 см.

Согласно исследованиям В.В. Чепиного и др. [39], процент озелененности территории в центральной части Иркутска не превышает 20 %, а в Братске — 10 %. Особенности городской инфраструктуры Иркутска и Братска заключается в том, что оба города расположены на обоих берегах р. Ангары, где застройка неравномерная по площади, причем большие площади заняты частным сектором с низким уровнем благоустройства. В связи с этим для представителей рода Тополь создаются условия для захвата неблагоустроенных территорий. Расселение тополя в Иркутске и Братске происходит на малозастроенных территориях, пустырях, внутридомовых участках, где имеются большие площади без построек и дорожных покрытий.

Исследования формирования групп клонов тополя бальзамического проводились в различных частях городов, наибольшее количество замеров выполнено на придомовых территориях. Как правило, это группы растений чис-

ленностью 7...15 экземпляров, являющиеся клонами одного материнского растения. Среднее расстояние между особями составляло от 60 до 1,3 м (табл. 6).

Как видно из табл. 6, клоны тополя бальзамического развиваются очень быстро — уже на второй год у поросли начинает формироваться основной ствол, а в возрасте 4 лет крона начинает подниматься над землей и формируется дерево лесного типа. У некоторых деревьев в возрасте 8...10 лет наблюдается поражение стволовой гнилью, поскольку продолжительность жизни клонов вегетативного происхождения ниже, чем растений, выращенных методом черенкования в декоративных питомниках.

Выводы

Можно сделать выводы о признаках инвазивности тополя бальзамического в условиях городов Иркутской области. Особенно признаки агрессивного расселения вида начали проявляться в 2010–2020 гг. вследствие изменений климата, в частности повышения среднегодовых и средних значений температуры воздуха в течение вегетационного периода на 1,3...1,5 °С, особенно в 2021–2024 гг., а также увеличения продолжительности вегетационного периода.

Тополь бальзамический (*Populus balsamifera* L.) наиболее подвержен таким грибковым заболеваниям, как ЛРТ, вызываемая грибами *Melampsora larici-populina* Kleb, и бурая пятнистость листьев, вызываемая грибами *Marssonina populi* Sacc. Тополь белый (*Populus alba* L.) частично поражается ЛРТ. Осина в городских условиях также оказалась более устойчивой.

В 2023 г. во всех городах Иркутской области проявилась эпифитотия ЛРТ у тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.), преобладающего в озеленении, более 90 % деревьев были поражены этим заболеванием при поражении более 60 % листовой пластинки.

Ответной реакцией тополя бальзамического после эпифитотии ЛРТ стало повышенное плодоношение, выразившееся в увеличении размеров сережек, коробочек с семенами и увеличении массы сережек и коробочек на 85,2 и 58,3 % соответственно по сравнению с 2023 г.

Прирост деревьев тополя бальзамического и тополя белого по высоте и боковой прирост коррелируют с ходом годовых температур, который постепенно увеличивается. Наибольший боковой прирост приходится на восточное и южное направление, причем прирост тополя бальзамического выше прироста тополя белого на 15...20 %.

Тополь бальзамический проявляет признаки инвазионного вида, особенно в Братске, где он занимает до 70 % общего количества древесных растений. Все молодые особи тополя бальзамического имеют порослевое происхождение, отличаются высокой энергией роста. Зафиксирован максимальный ежегодный прирост поросли — до 126 см/год.

По общей устойчивости к болезням и вредителям, продолжительности жизни, меньшей побегообразовательной способности, меньшей степени плодоношения и пушению тополь белый (*Populus alba* L.) более предпочтителен для городов Иркутской области, чем тополь бальзамический (*Populus balsamifera* L.).

Список литературы

- [1] Корлыханов М.С., Корлыханова Т.В. Пылезадерживающая способность листовой поверхности тополя свердловского серебристого пирамидального в условиях г. Екатеринбурга // Аграрный вестник Урала, 2008. № 10. С. 93–94.
- [2] Коропачинский И.Ю., Встовская Т.Н. Древесные растения Азиатской России. Новосибирск: Гео, 2012. 707 с.
- [3] Консенсусный документ по биологии тополя *Populus* L. // Гармонизация регуляторного надзора в области биотехнологии. Париж: Директорат по охране окружающей среды ОЭСР, 2000. № 16. 25 с.
- [4] Бакулин В.Т. Использование тополя в озеленении промышленных городов Сибири: краткий анализ проблем // Сибирский экологический журнал, 2005. № 4. С. 563–571.
- [5] Рунова Е.М., Аношкина Л.В. *Populus balsamifera* в озеленении Братска // Системы. Методы. Технологии, 2014. № 4 (24). С. 141–143.
- [6] Runova E., Verkhoturov V., Anoshkina L. Assessment of the Condition of Balsam Poplar Trees (*Populus balsamifera* L.) in a Residential Area of Bratsk // Acta silvae et Ligni, 2021, v. 126, pp. 53–60.
- [7] Charles J.G., Nef L., Allegro G. Insect and other pests of poplars and willows // Poplars and willows: Trees for society and the environment, 2014, v. 22 (8), pp. 459–526. DOI: 10.1079/9781780641089.0000
- [8] Coaloa D., Nervo G. Poplar wood production in Europe on account of market criticalities and agricultural, forestry and energy policy // Actas del Tercer Congreso Internacional de las Salicaceas en Argentina «Los alamos y los sauces junto al paisaje y el desarrollo productivo de la Patagonia». Neuquen, Argentina, 2011, p. 9.
- [9] Dickmann D.I., Kuzovkina J. Poplars and willows in the world, with emphasis on silviculturally important species // Poplars and willows: Trees for society and the environment, 2014, v. 22 (8), p. 91. DOI: 10.1079/9781780641089.0008
- [10] Du S.H., Wang Z.S., Ingvarsson P.K. Multilocus analysis of nucleotide variation and speciation in three closely related *Populus* (Salicaceae) species // Mol. Ecol., 2015, v. 24, p. 4994–5005. DOI: 10.1111/mec.13368
- [11] Eckenwalder J.E. Systematics and evolution of *Populus* // Biology of *Populus* and its implications for management and conservation / Eds. R.F. Stettler, H.D. Bradshaw Jr., P.E. Heilman, T.M. Hinkley. NRC Research Press, National Research Council Canada, Ottawa, ON, 1996, pp. 7–32.
- [12] FAO Poplars and Willows in Wood Production and Land Use. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1980, p. 328.
- [13] Gennaro M., Giorelli A. The biotic adversities of poplar in Italy: a reasoned analysis of factors determining the current state and future perspectives // Annals of Silvicultural Research, 2019, v. 43(1), pp. 41–51. DOI: 10.12899/asr-1817
- [14] Сайт «Погода и климат». URL: <https://www.pogodaiklimat.ru> (дата обращения 12.05.2025).
- [15] Карманова И.В. Математические методы изучения роста и продуктивности растений. М.: Наука, 1976. 221 с.
- [16] Постановление Правительства РФ от 9 декабря 2020 г. № 2047 «Об утверждении Правил санитарной безопасности в лесах». URL: <https://base.garant.ru/75037636/> (дата обращения 19.12.2023)
- [17] Рунова Е.М., Новоселова О.И. Эпифитотийное развитие листовой ржавчины тополя бальзамического в городах Иркутской области // J. of Agriculture and Environment, 2023. № 12 (40). DOI: 10.23649/JAE.2023.40.4
- [18] Минкевич И.И., Варенцова Е.Ю. Прогноз развития листовой ржавчины тополя (возбудитель *Melampsora populina* / Pers / Lev.) в зеленых насаждениях Санкт-Петербурга // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии, 2012. № 199. С. 64–72.
- [19] Басова С.В., Минкевич И.И. Листовая ржавчина тополя. Л.: ЛТА, 1999. 44 с.
- [20] Степанов К.М. Грибные эпифитотии. М.: Изд-во сельскохозяйственной литературы, 1962. 472 с.
- [21] Синчук Н.В., Курченко В.П. Устойчивость различных видов тополей (*Populus* spp.) к заболеваниям и комплексу вредителей // Экобиотех, 2021. Т. 4. № 3. С. 210–220.
- [22] Сурина Т.А., Копина М.Б., Смирнова А.В. Ржавчина тополя, вызываемая грибами рода *Melampsora* //

- Мониторинг и биологические методы контроля вредителей и патогенов древесных растений: от теории к практике: Материалы Третьей Всерос. конф. с междунар. участием. Москва, 11–15 апреля 2022 г. М.; Красноярск: Изд-во ИЛ СО РАН, 2022. С. 134–136.
- [23] Томошевич М.А., Воробьева И.Г. Патогенная микобиота листьев рода *Populus* L. в ландшафтных объектах крупных городов Сибири // Вестник НГАУ, 2016. № 1. С. 42–51.
- [24] Чекмарев В.В., Зеленева Ю.В., Конькова Э.А. Построение формул прогноза болезней растений на основе граничных значений факторов погоды // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского, 2017. № 4(66). С. 15–22.
- [25] Макарова Т.А., Перевалова Ю.В. Фитосанитарное состояние видов рода *Populus* L. в насаждениях города Сургута // Сборник научных трудов биологического факультета, 2010. Вып. 7. С. 36–45.
- [26] Wang Z., Du S., Dayanandan S. Phylogeny Reconstruction and Hybrid Analysis of *Populus* (Salicaceae) Based on Nucleotide Sequences of Multiple Single-Copy Nuclear Genes and Plastid Fragments // PLoS ONE, 2014, v. 9(8), e103645. DOI: 10.1371/journal.pone.0103645
- [27] White J. Black poplar: the most endangered native timber tree in Britain. Forestry Authority Research Division, 1993, no. 239, p. 4.
- [28] Widin K.D., Schipper A.L. Effect of *Melampsora* leaf rust infection on yield of hybrid poplars in the north central United States // Eur. J. For. Path., 1981, v. 11, pp. 438–448.
- [29] Wu J.H., Li Z., Zhou Z.B. Forecast model of poplar black spot caused by *Marssonina brunnea* // For. Pest Dis., 2012, v. 31, pp. 5–8.
- [30] Zhang Y., Tian L., Yan D.-H. Genome-Wide Transcriptome Analysis Reveals the Comprehensive Response of Two Susceptible Poplar Sections to *Marssonina brunnea* Infection // Genes, 2018, v. 9(3), p. 154. DOI: 10.3390/genes9030154
- [31] Кирюшин Н.О., Мишенина М.П., Кружилин С.Н. Годовые приросты тополя пирамидального при кронировании // Успехи современного естествознания, 2014. № 8. С. 122–124.
- [32] Федорова О.А., Савчук Д.А. Влияние экологических факторов на радиальный прирост тополя бальзамического в г. Томске // Вестник КрасГАУ, 2013. № 3. С. 84–90.
- [33] Лежнева С.В., Тюкавина О.Н. Зависимость радиального прироста тополя бальзамического от климатических факторов в городе Архангельске // Общество. Среда. Развитие, 2015. № 1. С. 169–174.
- [34] Эбель А.Л., Стрельникова Т.О., Куприянов А.Н., Анехонов О.А., Анкипович Е.С., Антипова Е.М., Верхозина А.В., Ефремов А.Н., Зыкова Е.Ю., Михайлова С.И., Пликина Н.В., Рябовол С.В., Силантьева М.М., Степанов Н.В., Терехина Т.А., Чернова О.Д., Шауло Д.Н. Инвазионные и потенциально инвазионные виды Сибири // Бюллетень Главного ботанического сада, 2014. № 1. С. 52–62.
- [35] Черная книга флоры Сибири / под ред. Ю.К. Виноградовой, А.Н. Куприянова. Новосибирск: Гео, 2016. 440 с.
- [36] Roy D.B. Invasive alien species in Europe: a review of the patterns, trends and impacts reported by the DAISIE project // IOBC/WPRS Bulletin, 2010, v. 58, pp. 91–95.
- [37] Yeryomenko Yu.A. Allelopathic Activity of Invasive Arboreal Species 2075 1117 // Russian J. of Biological Invasions, 2014, no. 2, pp. 33–39.
- [38] Richardson D.M., Pyšek P., Carlton J.T. A compendium of essential concepts and terminology in biological invasions // Fifty years of invasion ecology: the legacy of Charles Elton. Oxford: Blackwell Publishing, 2011, pp. 409–420.
- [39] Richardson D.M., Pyšek P., Rejmánek M., Barbour M.G., Panetta F.D., West C.J. Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions // Diversity & Distrib., 2000, v. 6, pp. 93–107.
- [40] Чепинога В.В., Солодянкина С.В., Иванова В.П. Особенности распространения некоторых культивируемых древесных растений в историческом центре г. Иркутска (Восточная Сибирь) // Вестник Томского государственного университета. Биология, 2017. № 40. С. 102–115

Сведения об авторах

Рунова Елена Михайловна [✉] — д-р с.-х. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Братский государственный университет», runova0710@mail.ru

Гарус Иван Александрович — канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Братский государственный университет», ivan-garus@yandex.ru

Поступила в редакцию 25.03.2025.

Одобрено после рецензирования 18.08.2025.

Принята к публикации 08.09.2025.

BALSAMIC POPLAR (*POPULUS BALSAMIFERA* L.) AND WHITE POPLAR (*POPULUS ALBA* L.) CONDITIONS IN IRKUTSK REGION'S URBAN ECOSYSTEMS

E.M. Runova✉, I.A. Garus

Bratsk State University, 40, Makarenko st, 665709, Bratsk, Irkutsk reg., Russia

runova0710@mail.ru

Significant changes in the state of representatives of the poplar genus in urban urban ecosystems of the Irkutsk region related to global warming phenomena are considered. It was found that the climate has undergone significant changes over the period 2021 to 2024, with an increase in average annual temperatures from 1,30 to 1,50 °C. Since 2023, balsamic poplar (*Populus balsamifera* L.) and (*Populus alba* L.) plantings have begun to be affected by fungal diseases, which had not previously been widespread. Leaf blades of balsamic poplar, white poplar and, partially, aspen leaves were studied during 2023–2024, as well as a percentage of diseased plants from the total number of trees examined. It was found that after epiphytosis with poplar leaf rust (LRT), the leaves of 50...60 % of the trees were affected by brown spotting. The response to diseases of the leaves of *Populus balsamifera* L was abundant fruiting and increased growth. A minor lesion of LRT was noted on the leaves of *Populus alba* L. in 2024. The study of poplar growth in height, diameter and lateral linear growth was carried out. It was found that the increase depends on the degree of shaping of the trees, the direction of the cardinal directions. There is a direct dependence of the increase on the annual temperature course. The warmest year in 2024 saw the largest increase. There is a high growth capacity of *Populus balsamifera* L., which allows us to pay attention to this species as an invasive one. As a result of the research, it was revealed that the white poplar was the most resistant to changing natural conditions and fungal diseases. Also, white poplar (*Populus alba* L.) practically does not form shoots in the Irkutsk region and produces fewer catkins and, accordingly, fluff.

Keywords: warming, climate, balsamic poplar, white poplar, leaf rust, growth, fruiting

Suggested citation: Runova E.M., Garus I.A. *Runova E.M., Garus I.A. Sostoyanie topolya bal'zamicheskogo (Populus balsamifera L.) i topolya belogo (Populus alba L.) v urboekosistemakh Irkutskoy oblasti* [Balsamic poplar (*Populus balsamifera* L.) and white poplar (*Populus alba* L.) conditions in Irkutsk region's urban ecosystems]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2025, vol. 29, no. 5, pp. 149–163.

DOI: 10.18698/2542-1468-2025-5-149-163

References

- [1] Korlykhanov M.S., Korlykhanova T.V. *Pylezaderzhivayushchaya sposobnost' listovoy poverkhnosti topolya sverdlovskogo serebristogo piramid'nogo v usloviyakh g. Ekaterinburga* [Dust-holding capacity of the leaf surface of the Sverdlovsk silver pyramidal poplar in the conditions of Yekaterinburg]. *Agrarnyy vestnik Urala* [Agrarian Bulletin of the Urals], 2008, no. 10, pp. 93–94.
- [2] Koropachinskiy I.Yu., Vstovskaya T.N. *Drevesnye rasteniya Aziatskoy Rossi* [Woody plants of Asian Russia]. Novosibirsk: Geo, 2012, 707 p.
- [3] *Konsensusnyy dokument po biologii topolya Populus L.* [Consensus document on the biology of poplar *Populus L.*]. *Harmonizatsiya regul'yatornogo nadzora v oblasti biotekhnologii* [Harmonization of regulatory oversight in the field of biotechnology]. Paris: OECD Environment Directorate, 2000, no. 16, 25 p.
- [4] Bakulin V.T. *Ispol'zovanie topolya v ozelenenii promyshlennykh gorodov Sibiri: kratkiy analiz problem* [The use of poplar in landscaping industrial cities of Siberia: a brief analysis of the problems]. *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal* [Siberian Ecological J.], 2005, no. 4, pp. 563–571.
- [5] Runova E.M., Anoshkina L.V. *Populus balsamifera v ozelenenii Bratska* [Populus balsamifera in landscaping Bratsk]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii* [Systems. Methods. Technologies], 2014, no. 4 (24), pp. 141–143.
- [6] Runova E., Verkhoturov V., Anoshkina L. *Assessment of the Condition of Balsam Poplar Trees (Populus balsamifera L.) in a Residential Area of Bratsk*. *Acta silvae et Ligni*, 2021, v. 126, pp. 53–60.
- [7] Charles J.G., Nef L., Allegro G. *Insect and other pests of poplars and willows. Poplars and willows: Trees for society and the environment*, 2014, v. 22 (8), pp. 459–526. DOI: 10.1079/9781780641089.0000
- [8] Coaloa D., Nervo G. *Poplar wood production in Europe on account of market criticalities and agricultural, forestry and energy policy. Actas del Tercer Congreso Internacional de las Salicaceas en Argentina «Los alamos y los sauces junto al paisaje y el desarrollo productivo de la Patagonia»*. Neuquen, Argentina, 2011, p. 9.
- [9] Dickmann D.I., Kuzovkina J. *Poplars and willows in the world, with emphasis on silviculturally important species. Poplars and willows: Trees for society and the environment*, 2014, v. 22 (8), p. 91. DOI: 10.1079/9781780641089.0008
- [10] Du S.H., Wang Z.S., Ingvarsson P.K. *Multilocus analysis of nucleotide variation and speciation in three closely related Populus (Salicaceae) species*. *Mol. Ecol.*, 2015, v. 24, p. 4994–5005. DOI: 10.1111/mec.13368
- [11] Eckenwalder J.E. *Systematics and evolution of Populus. Biology of Populus and its implications for management and conservation*. Eds. R.F. Stettler, H.D. Bradshaw Jr., P.E. Heilman, T.M. Hinkley. NRC Research Press, National Research Council Canada, Ottawa, ON, 1996, pp. 7–32.

- [12] FAO Poplars and Willows in Wood Production and Land Use. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1980, p. 328.
- [13] Gennaro M., Giorcelli A. The biotic adversities of poplar in Italy: a reasoned analysis of factors determining the current state and future perspectives. *Annals of Silvicultural Research*, 2019, v. 43(1), pp. 41–51. DOI: 10.12899/asr-1817
- [14] Weather and Climate. Available at: <https://www.pogodaiklimat.ru> (accessed 12.05.2025).
- [15] Karmanova I.V. *Matematicheskie metody izucheniya rostav i produktivnosti rasteniy* [Mathematical methods for studying plant growth and productivity]. Moscow: Nauka, 1976, 221 p.
- [16] *Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 9 dekabrya 2020 g. № 2047 «Ob utverzhdenii Pravil sanitarnoy bezopasnosti v lesakh»* [Resolution of the Government of the Russian Federation of December 9, 2020 No. 2047 «On approval of the Rules for sanitary safety in forests»]. Available at: <https://base.garant.ru/75037636/> (accessed 19.12.2023)
- [17] Runova E.M., Novoselova O.I. *Epifitotinoe razvitie listovoy rzhavchiny topolya bal'zamicheskogo v gorodakh Irkutskoy oblasti* [Epiphytotic development of balsam poplar leaf rust in the cities of the Irkutsk region]. *J. of Agriculture and Environment* [J. of Agriculture and Environment], 2023, no. 12 (40). DOI: 10.23649/JAE.2023.40.4
- [18] Minkevich I.I., Varentsova E.Yu. *Prognoz razvitiya listovoy rzhavchiny topolya (vozбудitel' Melampsora populina / Pers / Lev.) v zelenykh nasazhdeniyakh Sankt-Peterburga* [Forecast of poplar leaf rust development (pathogen *Melampsora populina* / Pers / Lev.) in green spaces of St. Petersburg]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [Bulletin of the St. Petersburg Forest Engineering Academy], 2012, no. 199, pp. 64–72.
- [19] Basova S.V., Minkevich I.I. *Listovaya rzhavchina topolya* [Poplar leaf rust]. Leningrad: LTA, 1999, 44 p.
- [20] Stepanov K.M. *Gribnye epifitotii* [Fungal epiphytoses]. Moscow: Publishing house of agricultural literature, 1962, 472 p.
- [21] Sinchuk N.V., Kurchenko V.P. *Ustoychivost' razlichnykh vidov topoley (Populus spp.) k zabolevaniyam i kompleksu vrediteley* [Resistance of various poplar species (*Populus* spp.) to diseases and pest complexes]. *Ekobiotekh* [Ecobiotech], 2021, v. 4, no. 3, pp. 210–220.
- [22] Surina T.A., Kopina M.B., Smirnova A.V. *Rzhavchina topolya, vyzvaemaya gribami roda Melampsora* [Poplar rust caused by fungi of the genus *Melampsora*]. *Monitoring i biologicheskie metody kontrolya vrediteley i patogenov drevesnykh rasteniy: ot teorii k praktike: materialy tret'ey Vserossiyskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* [Monitoring and biological methods of control of pests and pathogens of woody plants: from theory to practice: Proceedings of the Third All-Russian Conference with international participation]. Moscow, April 11–15, 2022. Moscow, Krasnoyarsk: IL SB RAS, 2022, pp. 134–136.
- [23] Tomoshevich M.A., Vorob'eva I.G. *Patogennaya mikrobiota list'ev roda Populus L. v landshaftnykh ob'ektakh krupnykh gorodov Sibiri* [Pathogenic mycobiota of leaves of the genus *Populus* L. in landscape objects of large cities of Siberia]. *Vestnik NGAU* [Bulletin of NGAU], 2016, no. 1, pp. 42–51.
- [24] Chekmarev V.V., Zeleneva Yu.V., Kon'kova E.A. *Postroenie formul prognoza bolezney rasteniy na osnove granichnykh znacheniy faktorov pogody* [Construction of formulas for forecasting plant diseases based on the boundary values of weather factors]. *Voprosy sovremennoy nauki i praktiki*. Universitet im. V.I. Vernadskogo [Issues of modern science and practice. University named after V.I. Vernadsky], 2017, no. 4 (66), pp. 15–22.
- [25] Makarova T.A., Perevalova Yu.V. *Fitosanitarnoe sostoyanie vidov roda Populus L. v nasazhdeniyakh goroda Surguta* [Phytosanitary condition of species of the genus *Populus* L. in plantings of the city of Surgut]. *Sbornik nauchnykh trudov biologicheskogo fakul'teta* [Collection of scientific papers of the biological faculty], 2010, iss. 7, pp. 36–45.
- [26] Wang Z., Du S., Dayanandan S. Phylogeny Reconstruction and Hybrid Analysis of *Populus* (Salicaceae) Based on Nucleotide Sequences of Multiple Single-Copy Nuclear Genes and Plastid Fragments. *PLoS ONE*, 2014, v. 9(8), e103645. DOI: 10.1371/journal.pone.0103645
- [27] White J. Black poplar: the most endangered native timber tree in Britain. Forestry Authority Research Division, 1993, no. 239, p. 4.
- [28] Widin K.D., Schipper A.L. Effect of *Melampsora* leaf rust infection on yield of hybrid poplars in the north central United States. *Eur. J. For. Path.*, 1981, v. 11, pp. 438–448.
- [29] Wu J.H., Li Z., Zhou Z.B. Forecast model of poplar black spot caused by *Marssonina brunnea*. *For. Pest Dis.*, 2012, v. 31, pp. 5–8.
- [30] Zhang Y., Tian L., Yan D.-H. Genome-Wide Transcriptome Analysis Reveals the Comprehensive Response of Two Susceptible Poplar Sections to *Marssonina brunnea* Infection. *Genes*, 2018, v. 9(3), p. 154. DOI: 10.3390/genes9030154
- [31] Kiryushin N.O., Mishenina M.P., Kruzhilin S.N. *Godovye prirosty topolya piramidal'nogo pri kronirovani* [Annual growth of pyramidal poplar during crown formation]. *Uspekhi sovremennoy estestvoznaniya* [Successes of modern natural science], 2014, no. 8, pp. 122–124.
- [32] Fedorova O.A., Savchuk D.A. *Vliyanie ekologicheskikh faktorov na radial'nyy prirost topolya bal'zamicheskogo v g. Tomske* [The influence of environmental factors on the radial growth of balsam poplar in Tomsk]. *Vestnik KrasSAU* [Bulletin of KrasSAU], 2013, no. 3, pp. 84–90.
- [33] Lezhneva S.V., Tyukavina O.N. *Zavisimost' radial'nogo prirosta topolya bal'zamicheskogo ot klimaticheskikh faktorov v gorode Arkhangel'ske* [Dependence of radial growth of balsam poplar on climatic factors in the city of Arkhangelsk]. *Obshchestvo. Sreda. Razvitie* [Society. Environment. Development], 2015, no. 1, pp. 169–174.
- [34] Ebel' A.L., Strel'nikova T.O., Kupriyanov A.N., Anenkhonov O.A., Ankipovich E.S., Antipova E.M., Verkhovina A.V., Efremov A.N., Zykova E.Yu., Mikhaylova S.I., Plikina N.V., Ryabovol S.V., Silant'eva M.M., Stepanov N.V., Terekhina T.A., Chernova O.D., Shaulo D.N. *Invazionnye i potentsial'no invazionnye vidy Sibiri* [Invasive and potentially invasive species of Siberia]. *Byulleten' Glavnogo botanicheskogo sada* [Bulletin of the Main Botanical Garden], 2014, no. 1, pp. 52–62.
- [35] *Chernaya kniga flory Sibiri* [Black Book of the Flora of Siberia]. Ed. Yu.K. Vinogradova, A.N. Kupriyanova. Novosibirsk: Geo, 2016, 440 p.

- [36] Roy D.B. Invasive alien species in Europe: a review of the patterns, trends and impacts reported by the DAISIE project. IOBC/WPRS Bulletin, 2010, v. 58, pp. 91–95.
- [37] Yeryomenko Yu.A. Allelopathic Activity of Invasive Arboreal Species 2075 1117. Russian J. of Biological Invasions, 2014, no. 2, pp. 33–39.
- [38] Richardson D.M., Pyšek P., Carlton J.T. A compendium of essential concepts and terminology in biological invasions. Fifty years of invasion ecology: the legacy of Charles Elton. Oxford: Blackwell Publishing, 2011, pp. 409–420.
- [39] Richardson D.M., Pyšek P., Rejmánek M., Barbour M.G., Panetta F.D., West C.J. Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions. Diversity & Distrib, 2000, v. 6, pp. 93–107.
- [40] Chepinoga V.V., Solodyankina S.V., Ivanova V.P. *Osobennosti rasprostraneniya nekotorykh kul'tiviruemykh drevesnykh rasteniy v istoricheskom tsentre g. Irkutsk (Vostochnaya Sibir')* [Features of the distribution of some cultivated woody plants in the historical center of Irkutsk (Eastern Siberia)]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya [Bulletin of Tomsk State University. Biology], 2017, no. 40, pp. 102–115.

Authors' information

Runova Elena Mikhaylovna ✉ — Dr. Sci. (Agriculture), Professor of the Bratsk State University, runova0710@mail.ru

Garus Ivan Aleksandrovich — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor, Head of the Department of Reproduction and Processing of Forest Resources of the Bratsk State University, ivan-garus@yandex.ru

Received 25.03.2025.

Approved after review 18.08.2025.

Accepted for publication 08.09.2025.

Вклад авторов: все авторы в равной доле участвовали в написании статьи
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article
The authors declare that there is no conflict of interest

VII Международный симпозиум имени Б.Н. Уголева

«СТРОЕНИЕ, СВОЙСТВА И КАЧЕСТВО ДРЕВЕСИНЫ — 2025»

29, 31 октября 2025 г.



Региональный Координационный совет по современным проблемам древесиноведения (РКСД), функционирующий под эгидой Международной академии наук о древесине (IAWS) при Мытищинском филиале МГТУ им. Н.Э. Баумана (ранее МЛТИ – МГУЛ), проводит VII Международный симпозиум «СТРОЕНИЕ, СВОЙСТВА И КАЧЕСТВО ДРЕВЕСИНЫ — 2025», посвященный 100-летию со дня рождения выдающегося отечественного древесиноведа, академика IAWS, профессора Бориса Наумовича Уголева.

Тематика симпозиума охватывает широкий круг вопросов фундаментального и прикладного древесиноведения, среди которых:

- морфология, анатомия, физиология;
- химические, физические, технологические и эксплуатационные свойства древесины;
- биоповреждения, защита древесины;
- качество древесины, древесных материалов, изделий и конструкций;
- стандартизация и сертификация.

Цель научного мероприятия

Обсуждение и обмен результатами исследований в области фундаментального и прикладного древесиноведения, укрепление и расширение сотрудничества с научно-исследовательскими и учебными университетами, предприятиями отрасли

Тематика научного мероприятия

Исследования в области строения, свойств и качества древесины

Партнеры

Федеральное агентство лесного хозяйства, ГК «Свеза», ПАО «Сеgezha Групп» (Segezha Group PJSC), Торгово-промышленная палата Российской Федерации, Ассоциация «ЛЕСТЕХ»