

ЛЕСНОЙ ВЕСТНИК / FORESTRY BULLETIN

Научно-информационный журнал

№ 1 ' 2024 Том 28

Главный редактор

Санаев Виктор Георгиевич, д-р техн. наук, профессор, директор Мытищинского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

Редакционный совет журнала

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. Бая Лука, Республика Сербская, Босния и Герцеговина
Деглиз 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 ВГЛТУ 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, УГЛТУ, Екатеринбург
Запруднов Вячеслав Ильич, д-р техн. наук, профессор, Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва
Иванкин Андрей Николаевич, д-р хим. наук, профессор, академик МАНВШ, Мытищинский филиал 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, Иностраный 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, Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва
Козлов Александр Ильич, канд. техн. наук, ученый секретарь Совета ОАО «НПО ИТ», Королёв
Комаров Евгений Геннадиевич, д-р техн. наук, профессор, Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва
Корольков Анатолий Владимирович, д-р физ.-мат. наук, профессор, Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва
Котиев Георгий Олегович, д-р техн. наук, профессор, кафедра «Колесные машины» 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
Липаткин Владимир Александрович, канд. биол. наук, профессор, Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва
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, Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва
Малашин Алексей Анатольевич, д-р физ.-мат. наук, профессор, Мытищинский филиал 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. Йоэнсуу, 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
Обливин Александр Николаевич, д-р техн. наук, профессор, академик РАЕН, МАНВШ, заслуженный деятель науки и техники РФ, МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва
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, Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва
Полуэтов Николай Павлович, д-р техн. наук, профессор, Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва
Родин Сергей Анатольевич, д-р с.-х. наук, профессор, академик РАН, ВНИИЛМ, Москва
Рыкунин Станислав Николаевич, д-р техн. наук, профессор, Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва
Стрекалов Александр Федорович, канд. техн. наук, АО «Корпорация Тактическое военное вооружение», Королёв
Теодоронский Владимир Сергеевич, д-р с.-х. наук, профессор, академик РАЕН, Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва
Титов Анатолий Матвеевич, канд. техн. наук, зам. начальника отделения, ученый секретарь Совета ЦУП ЦНИИМАШ, Королёв
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, Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва
Шимкович Дмитрий Григорьевич, д-р техн. наук, профессор, ООО «Кудесник», Москва
Щепаченко Дмитрий Геннадьевич, д-р биол. наук, доцент, старший научный сотрудник Международного института прикладного системного анализа (IIASA), Австрия

Ответственный секретарь Расева Елена Александровна

Редактор Л.В. Сивай

Перевод М.А. Карлухиной

Электронная версия Ю.А. Ражской

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 воспроизведены полностью или частично с письменного разрешения издательства
Выходит с 1997 года

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

Дата выхода в свет 25.01.2024

Тираж 600 экз.

Заказ №

Объем 18,5 п. л.

Цена свободная

LESNOY VESTNIK / FORESTRY BULLETIN

Scientific Information journal

No. 1 ' 2024 Vol. 28

Editor-in-chief

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

Editorial council of the journal

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
Korol'kov Anatoliy Vladimirovich, Professor, Dr. Sci. (Phys.-Math.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
Kotiev George Olegovich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
Kozlov Aleksandr Il'ich, Ph. D. (Tech.), Scientific Secretary of the Board of «NPO IT», Korolev
Kozhukhov Nikolay Ivanovich, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Econ.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
Krott Maks, Professor of Forest politics specialization, George-August-Universitet, Goettingen

Lipatkin Vladimir Aleksandrovich, Professor, Ph. D. (Biol.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
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
Martynuk 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
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
Pasztory, 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
Rykunin Stanislav Nikolaevich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), BMSTU (Mytishchi branch), 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
Strekalov Aleksandr Fedorovich, Ph. D. (Tech.), JSC «Tactical Missiles Corporation», Korolev
Teodoronskiy Vladimir Sergeevich, Professor, Dr. Sci. (Agric.), academician of the Russian Academy of Natural Sciences, BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
Titov Anatoliy Matveevich, Ph. D. (Tech.), Deputy Chief of Department, Scientific Secretary of the Board of MCC TSNIIIMASH, Korolev
Trichkov Neno Ivanov, professor, Dr., Vice-Rector for Research, Forestry University, Sofia, Bulgaria
Zalesov Sergey Veniaminovich, Professor, Dr. Sci. (Agric.), USFEU, Ekaterinburg
Zapudnov Vyacheslav Il'ich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow

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@mgul.ac.ru

It is sent for the press 25.01.2024
Circulation 600 copies
Order №
Volume 18,5 p. p.
Price free

СОДЕРЖАНИЕ

БИОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА

Мерзленко М.Д., Мельник П.Г., Тишков А.С. Ель европейская как лесообразователь на Смоленско-Московской возвышенности	5
Беднова О.В., Рысин С.Л. Лесные насаждения на территории Главного ботанического сада имени Н.В. Цицина Российской академии наук: охрана, реконструкция, реабилитация?	14
Кабанова С.А., Вибе Е.П., Кабанов М.Н., Данченко М.А., Борцов В.А., Шахматов П.Ф. Изучение состояния и роста лесных культур в зеленой зоне г. Астаны	28
Залывская О.С., Бабич Н.А., Лебедева О.П. Фенология видов рода <i>Syringa</i> L. как показатель адаптации и натурализации в субарктических условиях	39
Плюснина С.Н., Федорков А.Л., Гуляев Р.Г. Структура хвои сосны скрученной <i>Pinus contorta</i> Dougl. и сосны обыкновенной <i>Pinus sylvestris</i> L. в экспериментальных культурах	46
Сурсо М.В. Достоверность методов экспресс-диагностики качества пыльцы хвойных растений	56
Пристова Т.А. Влияние древесной растительности на физические показатели снежного покрова средней тайги Республики Коми	68
Гриднев А.Н., Храпко О.В., Гриднева Н.В. Региональная компонента в подготовке специалистов лесного хозяйства	80

ЛАНДШАФТНАЯ АРХИТЕКТУРА

Ширнина И.В., Молканова О.И., Якимова О.С., Семенова Д.А. Особенности клонального размножения павловнии войлочной (<i>Paulownia tomentosa</i>)	89
Федина Л.А., Малышева С.К., Репин Е.Н. Редкие виды орхидей (Orchidaceae) дендрария Горнотаежной станции им. В.Л. Комарова ДВО РАН и сопредельных территорий (Приморский край, Дальний Восток России)	97

ДЕРЕВООБРАБОТКА И ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

Алкинж С., Данилов Д.А., Зайцев Д.А. Плотность древесины сосны брутийской и сосны Станкевича в искусственных насаждениях	108
Неверов Н.А., Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б., Минеев А.Л. Значение мезорельефа в формировании структуры древесины сосны (<i>Pinus sylvestris</i> L.) в подзоне средней тайги	121
Прошина О.П., Иванкин А.Н. Эпиламирование механических устройств для повышения износостойкости в условиях механохимического воздействия	130
Острякова В.А., Ермолин В.Н., Баяндин М.А. Влияние геометрических характеристик наполнителя на свойства древесного композита	139

CONTENTS

BIOLOGICAL AND TECHNOLOGICAL ASPECTS OF FORESTRY

Merzlenko M.D., Melnik P.G., Tishkov A.S. Forest forming species of European spruce in Smolensk-Moscow uplands	5
Bednova O.V., Rysin S.L. Forest stands in N.V. Tsitsin Main Botanical Garden of Russian Academy of Sciences: conservation, reconstruction, rehabilitation?... ..	14
Kabanova S.A., Vibe E.P., Kabanov M.N., Danchenko M.A., Bortsov V.A., Shakhmatov P.F. State and growth of forest species in Astana green belt	28
Zalyvskaya O.S., Babich N.A., Lebedeva O.P. Genus <i>Syringa</i> L. phenology as indicator of adaptation and naturalization in subarctic conditions	39
Ilintsev A.S. Plyusnina S.N., Fedorkov A.L., Gulyaev R.G. Needle structure of <i>Pinus contorta</i> Dougl. and <i>Pinus sylvestris</i> L. in experimental cultures	46
Surso M.V. Express diagnostics methods reliability of coniferous species pollen quality	56
Pristova T.A. Woody vegetation influence on snow cover (middle taiga of Komi Republic)	68
Gridnev A.N., Khrapko O.V., Gridneva N.V. Regional component in training forestry specialists.....	80

LANDSCAPE ARCHITECTURE

Shirnina I.V., Molkanova O.I., Yakimova O.S., Semenova D.A. Features of <i>Paulownia tomentosa</i> clonal propagation	89
Fedina L.A., Malysheva S.K., Repin E.N. Rare species of orchids (Orchidaceae) in the V.L. Komarov FEB RAS Arboretum Gornotaezhnaya station and in neighbouring territory (Primorsky Territory, Far East of Russia).....	97

WOODWORKING AND CHEMICAL WOOD PROCESSING

Alkinzh S., Danilov D.A., Zaytsev D.A. Brutyskaya pine and Stankevich pine wood density in artificial stands	108
Neverov N.A., Kutinov Yu.G, Chistova Z.B., Mineev A.L. Mesorelief influence on pine wood structure formation in middle taiga	121
Proshina O.P., Ivankin A.N. Epilamization of mechanical devices to increase wear resistance under mechanochemical impact	130
Ostryakova V.A., Ermolin V.N., Bayandin M.A. Influence of filler geometrical characteristics on wood composite properties	139

ЕЛЬ ЕВРОПЕЙСКАЯ КАК ЛЕСООБРАЗОВАТЕЛЬ НА СМОЛЕНСКО-МОСКОВСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ

М.Д. Мерзленко¹, П.Г. Мельник^{1, 2✉}, А.С. Тишков¹

¹ФГБУН Институт лесоведения Российской академии наук (ИЛАН РАН), Россия, 140030, Московская обл., Одинцовский р-н, с. Успенское, ул. Советская, д. 21

²ФГБОУ 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

Приведены результаты исследования ели европейской (*Picea abies* (L.) Karst.) — коренного лесообразователя и неотъемлемого компонента лесного биогеоценоза в зоне смешанных лесов. Установлено, что покрытые ельниками лесные земли по лесничествам Смоленско-Московской возвышенности, составляют от 16 до 65 % их площадей. Преобладают ельники кисличные и сложные, сформировавшиеся на моренных и покровных суглинках. Как естественные, так и искусственные древостои ели способны расти по Ia и I классам бонитета, достигая высоких запасов стволовой древесины (600 м³/га и даже более). Определена лесохозяйственная скороспелость лесных культур ели в сочетании с биологической недолговечностью (вследствие периодически повторяющихся засух). Показано, чтобы выявить тенденции в отношении динамики производительности деревьев ели и на основании этого обосновать целесообразный возраст рубки искусственных древостоев ели, были проведены соответствующие исследования на территории пяти лесничеств Смоленско-Московской возвышенности. Определены максимальные результаты накопления древесины по объему ствола у господствующих деревьев (I и II) классов Крафта. Показано, что для господствующей группы деревьев (I–III классы Крафта) интенсивное наращивание прироста наблюдается до 65 лет, а у подчиненных (IV и V классы Крафта) — до 55 лет. Учитывая снижение жизненного потенциала деревьев ели после 70 лет, оставлять на корню ельники после 80-летнего возраста не рекомендуется.

Ключевые слова: Смоленско-Московская возвышенность, ель европейская, искусственные лесные насаждения, динамика роста, возраст рубки

Ссылка для цитирования: Мерзленко М.Д., Мельник П.Г., Тишков А.С. Ель европейская как лесообразователь на Смоленско-Московской возвышенности // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2024. Т. 28. № 1. С. 5–13. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-1-5-13

В пределах Русской равнины европейской части России Смоленско-Московская возвышенность, которая охватывает Смоленскую область, проходит в северо-восточном направлении через Московскую область, заканчивается на юге Ярославской области и в северо-западной части Владимирской области, затрагивая северо-запад Калужской области. В пределах Московской области возвышенность получила название Клинско-Дмитровской гряды (рис. 1), где абсолютная высота достигает 319 м (в Смоленской обл.) и 311 м (в Московской обл.) [1].

Почвенный покров сложен дерново-подзолистыми суглинистыми почвами, сформированными на моренных и покровных отложениях. Согласно С.Ф. Курнаеву [2], территория возвышенности полностью входит в зону смешанных лесов. По данным лесничеств, земли, покрытые еловыми лесами, составляют от 16 до 65 %, в среднем 36 %. Эти данные очень близки к данным, полученным И.И. Суружом [3]: к XX в. в Московской губернии ель составляла 23 % лесопокрытой площади, в Смоленской губернии — 62 %. Это свиде-

тельство того, что ель на Смоленско-Московской возвышенности является коренной древесной породой. Древостои ели произрастают в условиях ельников-кисличников и ельников сложных. Они характеризуются высокой производительностью: растут по Ia–I и даже Ib классам бонитета, достигая запасов стволовой древесины 600 м³/га и даже более [4] (рис. 2 и 3). По этим показателям Смоленско-Московская возвышенность — это резерв для создания плантационных лесных культур, согласно имеющимся рекомендациям [5].

Однако периодически происходит массовое усыхание ельников, сопровождающееся развитием очагов короеда-типографа и прочих стволовых вредителей [6, 7]. Усыханию подвержены как естественные, так и искусственные насаждения. Усыхают не только монокультуры ели, но и разновозрастные естественные древостои на всей территории европейской части России. Примером могут служить ельники Балкан, Беловежской Пути, Белоруссии, Валдая, Европейского Севера, Поволжья, Северного Кавказа, Западного Урала, Сибири и Дальнего Востока [8–19]. В не меньшей степени подвержены усыханию и ельники на территории особо охраняемых природных территорий [20–22].



Рис. 1. Рельеф Клино-Дмитровской гряды в окрестностях г. Дмитрова
(фото А.А. Коженковой)

Fig. 1. Relief of the Klin-Dmitrovskaya Ridge in the vicinity of Dmitrov city
(photo by A.A. Kozhenkova)

Полный распад ельников в результате их усыхания от засухи — явление заурядное, закономерное и полностью соответствующее природной сути еловых насаждений [23]. В качестве примера можно привести описание первопричин классического усыхания и распада части ельников Беловежской Пущи в 1963–1968 гг.

Еловые насаждения Беловежской Пущи расположены в южной части ареала ели. Условия здесь благоприятны для ее произрастания: дерново-подзолистые почвы, достаточно увлажненные; климат умеренно теплый, с повышенным радиационным балансом, определяющим среднюю годовую температуру воздуха как $+6,6\text{ }^{\circ}\text{C}$; сумма осадков за вегетационный период составляет 624 мм; средняя сумма температур за период с температурой воздуха выше $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ достигает $2656\text{ }^{\circ}\text{C}$ [24].

Рассмотрим возможные причины массового усыхания ели в Беловежской Пуще при наличии благоприятных условий произрастания. Для изучения проблемы в усыхающих насаждениях Хвойнического лесничества в июне 1968 г. были проанализированы климатические данные и заложены 16 пробных площадей для проведения исследований. Полученные результаты были дополнены данными рекогносцировочного обследования. Таким образом было установлено, что усыхание еловых древостоев в Беловежской Пуще наблюдалось в насаждениях всех классов

возраста (кроме I класса), наиболее — в древостоях VI–VII классов возраста, т. е. в старых насаждениях.

В Хвойническом лесничестве особенно четко и интенсивно проходило групповое и куртинное усыхание древостоев ели VI–VII классов возраста с полнотами 0,7 и 0,8. По данным В.П. Тимофеева [25], в засуху 1938–1939 гг. усыхание ели в еловых искусственных насаждениях Лесной опытной дачи ТСХА также шло куртинами и отдельными деревьями, в высокополнотных древостоях Хвойнического лесничества усыхание происходило интенсивнее [25]. В 1938–1940 гг. высокий возраст ельников в избыточно густых насаждениях явился условием, ускоряющим усыхание: т.е. наименее устойчивыми к засухе оказались старые, чистые и густые ельники. Хорошую устойчивость показали молодые, смешанные и систематически разреживаемые ельники [25].

В Беловежской Пуще усыхание ели не приурочено к разным элементам рельефа местности. Наряду с усыханием ели на участках рельефа возвышенных, ровных и приуроченным к долинам рек, усыхание ели наблюдалось и в заболоченных ольсах, расположенных в понижениях.

Анализ данных, полученных по 16 пробным площадям, не показал зависимости усыхания ели от диаметра дерева. Кроме того, число здоровых деревьев варьировало от 35 до 91,4 %. Наименьшую часть (35...60 %) здоровых деревьев показали



Рис. 2. Естественный древостой ели
Fig. 2. Natural spruce stand



Рис. 3. Искусственный древостой ели
Fig. 3. Artificial spruce stand

насаждения с куртинным усыханием (ельники и сосняки-черничники, ельники орляковые), наибольшую (80 % деревьев при перечете) — древостой с единичным и групповым усыханием. Ослабленные деревья составили от 3,4 до 29,2 %. Наличие ослабленных деревьев более 20 % было характерно для ельников черничников и ельников папоротниково-травяных, где отмечалось куртинное усыхание. Усыхающие деревья составили от 0 до 4 %.

Характер усыхания ели в Беловежской Пуше имел много общего с усыханием ели в 1938–1939 гг. в средней полосе России. В декабре 1939 г. Московское областное научное инженерно-техническое общество лесной промышленности и лесного хозяйства организовало специальную конференцию по борьбе с усыханием древесных пород (главным образом ели). По приведенным на конференции данным отмечалось, что в Ульяновском лесхозе Орловской области усыхание шло куртинами и отдельными деревьями начиная с возраста примерно 40 лет (что было характерно в 1963–1968 гг. и для Беловежской Пуши). В Клетнянском лесхозе Орловской (ныне Брянской) области, лежащем на широте Беловежской Пуши,

наибольшее усыхание происходило в типах леса *Piceetum querceto-tiliosum* и *Piceetum myrtillosum* VI–VII классов возраста, что характерно и для еловых древостоев Беловежской Пуши в 1963–1968 гг.

На шести постоянных пробных площадях в Хвойническом лесничестве Беловежской Пуши в сентябре 1968 г. был проведен повторный пересчет. Выяснилось, что на всех объектах доля усыхающих елей и свежего сухостоя не увеличилась, а доля ослабленных деревьев возросла в среднем только на 7 %, что говорило уже о тенденции затухания процессов усыхания ели.

Согласно А.И. Воронцову [26], усыхание лесов закономерный и периодически повторяющийся процесс, о котором написано в обзорной статье А.Д. Маслова [13]. Усыхание ельников сопровождается активизацией стволовых вредителей и очагов корневой губки [27]. При этом усыхают ельники V классов возраста и более, а причиной являются периодически повторяющиеся засухи. Усыхают старовозрастные ельники, поскольку, по данным В.Д. Зеликова [28], с увеличением возраста ельников потребность их во влаге увеличивается, достигая максимума в период кульминации

Динамика объема ствола у деревьев ели разных классов по Крафту
Stem volume dynamics in spruce trees by different Kraft classes

Возраст культур ели, лет	Объем ствола, м ³				
	I	II	III	IV	V
10	0,0026	0,0023	0,0012	0,0005	0,0003
20	0,0387	0,0330	0,0247	0,0114	0,0072
30	0,1461	0,1202	0,0948	0,0536	0,0444
40	0,3089	0,2310	0,1727	0,1121	0,0839
50	0,5308	0,3977	0,2745	0,1789	0,1365
60	0,7818	0,5898	0,3806	0,2525	0,1977
70	1,0834	0,8220	0,4892	0,3191	0,2522
80	1,3549	0,9802	0,5847	0,3585	0,2706

текущего прироста по объему, т. е. в возрасте около 50 лет и старше. Именно поэтому от засушливых лет страдают в первую очередь средневозрастные, приспевающие и тем более спелые и перестойные насаждения. Усыхание ельников нередко объясняют «нападением» на еловые насаждения короеда-типографа (*Ips typographus* L.). Однако он всего лишь «могильщик», а не первопричина усыхания ельников. Короед — это последнее звено в процессе гибели физиологически ослабленной и усыхающей ели. В Удмуртской Республике из 10 обследованных усохших деревьев ели только одно погибло по причине заселения его стволовыми вредителями, остальные ослабли и погибли вследствие неблагоприятного воздействия климатических факторов [29].

Таким образом, важное значение приобретает установление возраста ели в котором следует назначать в рубку ельники, для того чтобы они не превратились в сухостойный лес.

Цель работы

Цель работы — рассмотрение динамики производительности и роста ели (*Picea abies* (L.) Karst.) как коренной хвойной породы на Смоленско-Московской возвышенности и обоснование оптимального возраста главной рубки для ельников.

Объекты и методы исследования

Исследования проведены в лесорастительных условиях произрастания коренных ельников-кисличников (тип условий местопроизрастания — С₃). Объектами исследований послужили чистые по составу лесные культуры ели европейской, созданные рядовым размещением (см. рис. 3) двухлетних сеянцев с густотой посадки 5 тыс. экз. на 1 га. Согласно ОСТ 56-69–83 [30] на исследуемой территории было заложено восемь пробных площадей в культурах возрастом 70...80 лет со взятием модельных деревьев по способу пропорционально-ступенчатого представительства [31].

В ходе перерасчетов деревья подразделялись по классам роста и развития Крафта [32]. По каждому

модельному дереву, согласно анализу древесного ствола были рассчитаны объемы стволов, а по возрастным периодам — среднестатистические текущие приросты. Запас стволовой древесины (м³/га) рассчитывался по формуле

$$M = H \cdot F \cdot G,$$

где H — средняя высота насаждения, м;

F — видовое число;

G — сумма площадей сечения, м²/га.

Результаты и обсуждение

Рассмотрим динамику объема ствола у деревьев ели разных классов по Крафту в целом по восьми исследованным насаждениям (таблица). Как видно из таблицы, объем ствола ели четко дифференцирован по определенным классам Крафта. Результаты накопления древесины в объеме ствола дерева к 80-летнему возрасту фактически предопределены изначальным объемом ствола в 10-летнем возрасте. Во всех возрастах максимальный объем свойствен деревьям высших (I и II) классов Крафта. Так, например, в возрасте 80 лет деревья I класса Крафта имеют объем ствола в 5 раз выше такового у деревьев V класса. Это полностью согласуется с высказыванием Н.В. Третьякова [33] о том, что «прирост деревьев есть функция их ранга в древостое». На этом основан принцип создания плантационных культур ели [5].

На рис. 4 отражена динамика среднепериодических текущих приростов по объемам стволов. Интенсивность наращивания прироста у деревьев I, II и III классов Крафта происходит до 65 лет, а у деревьев IV и V классов — до 55 лет. Деревья-лидеры, а это деревья I и II классов Крафта, наиболее производительны. Однако после 65 лет и у них начинается очень резкое снижение текущего прироста. Даже для полных искусственных насаждений ели, созданных известным лесоводом К.Ф. Тюрмером (которые по факту являются эталонными) по таблице, составленной А.Н. Поляковым [34], среднепериодический текущий прирост по запасу стволовой древесины в насаждениях

1б класса бонитета снижается после 95 лет, а 1а класса бонитета — после 90 лет. Результаты массовых исследований лесных культур ели [35] свидетельствуют о том, что запасы древесины в лесных культурах ели, созданных трехлетними сеянцами, снижаются после 90 лет, а в культурах, созданных саженцами, — после 70 лет. Одним словом, начиная с 70-летнего возраста в искусственных насаждениях ели происходит потеря наращивания древесной массы.

Данные таблицы и рис. 4 дополняет рис. 5, на котором отражена динамика редуцированных чисел, представляющих в данном случае отношение среднего объема ствола дерева определенного класса Крафта к среднему объему ствола исследованных восьми насаждений в целом. Значения редуцированных чисел в динамике в период от 10 до 80 лет имеют много общих тенденций у деревьев I и II классов, IV и V классов. Между этими сопоставляемыми парами III класс Крафта занимает как бы срединное положение, причем в диапазоне от 20 до 45 лет деревья этого класса наиболее близко приближаются к среднему значению объема ствола дерева ($R_v = 1,0$) искусственного насаждения. Несмотря на то что природа трех групп деревьев (I и II, затем III, и далее IV и V классов) весьма различна по значениям редуцированных чисел, каждой из этих трех групп в динамике свойственна своя тенденция изменения значений редуцированных чисел. Этот факт свидетельствует об элементе этологического (поведенческого) аспекта индивидуумов древесного сообщества.

Как на рис. 4, так и на рис. 5 четко видны следующие тенденции: снижения жизненного потенциала деревьев к 80 годам; начала увеличения потребности ельников во влаге [28]; отсутствия необходимого количества влаги при влажности почвы около или ниже двойной гигроскопичности и усыхания (особенно при засухе) [25].

Усыхание ельников вследствие засухи периодически издавна происходят на всей территории Восточно-Европейской равнины [13], в центре которой расположена Смоленско-Московская возвышенность. Усыханию подвержены как искусственные, так и естественные ельники, поэтому, рациональным мероприятием признается рубка насаждений ели после достижения ими 80-летнего возраста, поскольку возникает опасность развития короедников.

К.Ф. Тюрмер [36] практиковал 60-летний возраст рубки ели, допуская его максимальное повышение не более чем до 80 лет. При классическом лесоустройстве Никольской лесной дачи в 1884 г., профессор М.К. Турский также принимал 60-летний возраст рубки [37].

Для плантационного лесовыращивания белорусские лесоводы предлагают снизить воз-

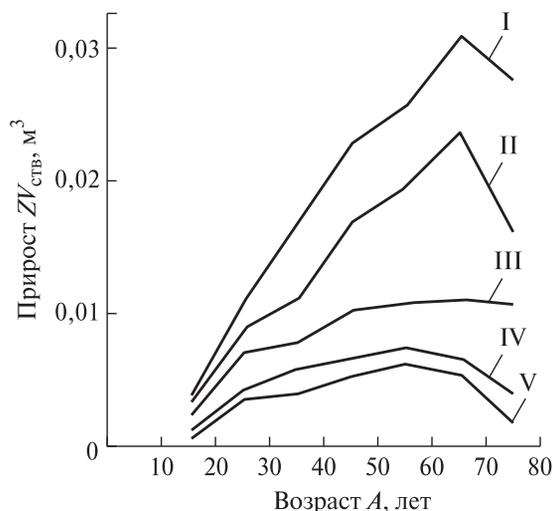


Рис. 4. Динамика среднепериодического текущего прироста у деревьев разных классов Крафта по объему ствола (по данным восьми пробных площадей)

Fig. 4. Dynamics of average periodic current growth in trees of different Kraft classes by trunk volume (based on data from eight sample plots)

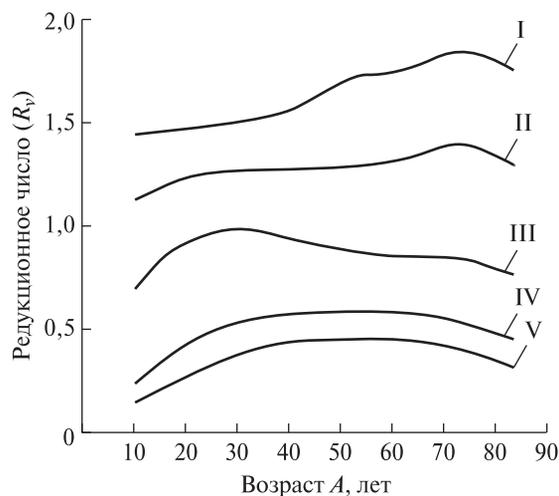


Рис. 5. Динамика редуцированных чисел по объему ствола у деревьев ели разных классов Крафта (в среднем по восьми пробным площадям)

Fig. 5. Reduction numbers dynamics by trunk volume in spruce trees of different Kraft classes (averaged over eight sample plots)

раст главной рубки до 35...40 лет, что обеспечит получение 300...350 м³/га ценной балансовой древесины [38].

Выводы

Установлено, что максимальные результаты накопления древесины по объему ствола свойственны господствующим деревьям (I и II) классов Крафта. Для господствующей группы деревьев (I — III классы Крафта) интенсивное наращивание прироста наблюдается до 65 лет, а у подчиненных (IV и V классы Крафта) — до 55 лет. Таким образом, учитывая снижение

жизненного потенциала деревьев ели после 70 лет, оставлять на корню ельники после 80-летнего возраста нецелесообразно.

Исходя из тенденции снижения прироста объема стволовой древесины у деревьев ели после 65 лет, а также из опасности усыхания старых ельников в засушливые годы, предлагается назначать возраст рубки искусственных ельников начиная с 81 года. Кроме того, территория Смоленско-Московской возвышенности вполне подходит для выращивания плантационных культур ели с укороченным возрастом рубки.

Список литературы

- [1] Мерзленко М.Д., Мельник П.Г. Лесоводственная экскурсия в леса Клиско-Дмитровской гряды. М.: МГУЛ, 2002. 93 с.
- [2] Курнаев С.Ф. Лесорастительное районирование СССР. М.: Наука, 1973. 203 с.
- [3] Сурож И.И. Состав насаждений наших государственных лесов. СПб., 1905. 268 с.
- [4] Merzlenko M., Melnik P., Zakharov A. Approbation of spruce population of various origin in geographical plantation in Central Russia // *Rastove procesy a pestovanie lesov v zmenenych ekologickich podmienkach*, Zvolen, 1997. pp. 125–132.
- [5] Шутов И.В., Маркова И.А., Омеляненко А.А., Постников М.В., Товкач Л.Н., Власов Р.В., Подшиваев Е.Е., Сергиенко В.Г. Плантационное лесоводство / под ред. И.В. Шутова. СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2007. 366 с.
- [6] Алябьев А.Ф. Усыхание ельников Подмосквья // *Вестник Московского государственного университета леса — Лесной вестник*, 2013. №6 (98). С. 159–166.
- [7] Гниненко Ю.И., Хегай И.В. Динамика усыхания еловых лесов в Московском регионе // *Лесохозяйственная информация*, 2018. № 2. С. 65–74. <https://doi.org/10.24419/LNI.2304-3083.2018.2.07>
- [8] Станивуковий З., Васильевий Р. Найважніе біотичке штеточине и њихов утицај на интензитет сушења смрче (*Picea abies* Karst.) на Романијском платоу // *Шумарство*, 2018. № 3–4. С. 21–41.
- [9] Жданович С.А., Юрченко Е.О. Биологическое и структурное разнообразие биоты деревообитающих макромицетов в условиях проведения / непроведения санитарных рубок на участках массового усыхания ели в Беловежской Пуще // *Беловежская Пуща. Исследования*. Вып. 16. Брест: Альтернатива, 2018. С. 80–96.
- [10] Матюшевская Е.В., Киселев В.Н., Яротов А.Е., Митрахович П.А., Девгуть С.В. Сравнительный анализ продукционного потенциала ели на осушенной и неосушенной территориях Белорусского Полесья // *Журнал Белорусского государственного университета. Экология*, 2018. № 2. С. 38–47.
- [11] Сарнацкий В.В. Основные лесохозяйственные мероприятия по формированию, повышению продуктивности и оздоровлению еловых древостоев в условиях Беларуси // *Труды БГТУ. Серия 1, Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов*, 2019. № 1 (222). С. 74–81.
- [12] Кравцов С.Л., Ильичик М.А., Голубцов Д.В., Козел А.Л., Пушкин А.А., Савко И.Л., Романович К.А. Прогнозный мониторинг развития очагов короеда-типографа в насаждениях ели с использованием спутниковых и наземных данных // *Труды БГТУ. Серия 1, Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов*, 2022. № 1 (252). С. 65–72.
- [13] Маслов А.Д. Усыхание еловых лесов от засух на Европейской территории СССР // *Лесоведение*, 1972. № 6. С. 77–87.
- [14] Мерзленко М.Д., Бабич Н.А., Гаврилова О.И. Введение в экологию хвойных лесных культур. Архангельск: Изд-во САФУ, 2018. 379 с.
- [15] Мухаметшина А.Р., Шайхразиев Ш.Ш. Изучение состояния ельников Республики Татарстан // *Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства*, 2019. № 2. С. 71–79. <https://doi.org/10.21178/2079-6080.2019.2.71>
- [16] Ведерников К.Е., Бухарина И.Л., Загребин Е.А. Динамика и состояние еловых насаждений в Удмуртской Республике // *Лесохозяйственная информация*, 2020. № 3. С. 5–16. <https://doi.org/10.24419/LNI.2304-3083.2020.3.01>
- [17] Dmitriev E.V., Sokolov A.A., Kozoderov V.V., Delbarre H., Melnik P.G., Donskoi S.A. Spectral-texture classification of high resolution satellite images for the state forest inventory in Russia. Proc. SPIE 11149, Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology, 2019, t. XXI, v. 111491J. DOI: 10.1117/12.2532965
- [18] Матвеева А.Г. Исследование особенностей усыхания еловых древостоев на российском Дальнем Востоке // *Ученые заметки ТОГУ*, 2018. Том 9. № 1. С. 158–161.
- [19] Максимова В.Ф., Майоров Л.А., Петропавловский Б.С. Основные факторы среды, влияющие на усыхание пихтово-еловых лесов Дальнего Востока // *Вестник Московского университета. Серия 5. География*, 2019. № 1. С. 61–66.
- [20] Пукинская М.Ю., Кессель Д.С., Щукина К.В. Усыхание пихто-ельников Тебердинского заповедника // *Ботанический журнал*, 2019. Т. 104. № 3. С. 337–362. <https://doi.org/10.1134/S0006813619030062>
- [21] Пирцхалава-Карпова Н.Р., Карпов А.А., Грищенко М.Ю., Козловский Е.Е. Исследование участков леса, подверженных влиянию короеда-типографа (*Ips typographus*) в заповеднике «Курильский» (о. Кунашир) // *Лесотехнический журнал*, 2020. Т. 10. № 1. С. 50–59. <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2020.1/5>
- [22] Ivanov D.G., Kurbatova J.A. Dynamics of *Picea abies* mortality and CO₂ and CH₄ fluxes from spruce trees decomposition in the southwest of the Valdai upland, Russia // *Nature Conservation Research. Заповедная наука* 2023. 8(2). pp. 33–43. <https://doi.org/10.24189/ncr.2023.013>
- [23] Мерзленко М.Д., Бабич Н.А. Теория и практика выращивания сосны и ели в культурах. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2002. 220 с.
- [24] Толкач В.Н., Кочановский С.Б. Характеристика климата в районе Беловежской Пущи // *Беловежской Пуща. Исследования*. Вып. 9. Минск: Ураджай, 1975. С. 3–35.
- [25] Тимофеев В.П. Борьба с усыханием ели. М.: Гослестехиздат, 1944. 48 с.
- [26] Воронцов А.И. Биологические основы защиты леса. М.: Высшая школа, 1963. 324 с.
- [27] Мерзленко М.Д. О влиянии дятлов на стволовых вредителей в очагах корневой губки // *Зоологический журнал*, 1977. Т. LVI., Вып. 6. С. 929–934.
- [28] Зеликов В.Д. Материалы к характеристике водного режима ельников разного возраста // *Изв. вузов. Лесной журнал*, 1958. № 4. С. 42–54.
- [29] Вахрушев К.В., Абсалямов Р.Р. Лесной комплекс Удмуртской Республики: состояние, проблемы, перспективы развития лесных отношений // *Леса Евразии — Леса Поволжья: Материалы XVII Междунар. конф. молодых ученых, посвященной 150-летию со дня рождения профессора Г.Ф. Морозова, 95-летию Казанского государственного аграрного университета и Году экологии в России*. М.: Маска, 2017. С. 34–38.

- [30] ОСТ 56-69–83. Пробные площади лесоустроительные. Методы закладки. М.: Изд-во стандартов, 1983. 59 с.
- [31] Анучин Н.П. Лесная таксация. М.: Лесная пром-сть, 1971. 512 с.
- [32] Kraft G. Beiträge zur Lehre von den Durchforstungen, Schlagstellungen und Lichtungshieben. Hannover: Klindworth's Verlag, 1884, 147 p.
- [33] Третьяков Н.В. Закон единства в строении насаждений. Л.: Новая деревня, 1927. 113 p.
- [34] Поляков А.Н., Ипагов Л.Ф., Успенский В.В. Продуктивность лесных культур. М.: Агропромиздат, 1986. 240 с.
- [35] Мерзленко М.Д. К вопросу распада искусственных насаждений ели // Научные труды МЛТИ, 1990. № 234. С. 79–82.
- [36] Тюрмер К.Ф. Пятьдесят лет лесохозяйственной практики. М.: Типография Э. Лисспера и Ю. Романова, 1891. 186 с.
- [37] Мерзленко М.Д., Мельник П.Г. Опыт лесоводственного мониторинга в Никольской лесной даче. М.: МГУЛ, 2015. 112 с.
- [38] Штукин С.С. Лесовосстановление вырубок усыхающих ельников // Труды БГТУ. Серия 1, Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов, 2018. № 2 (210). С. 116–120.

Сведения об авторах

Мерзленко Михаил Дмитриевич — д-р с.-х. наук, профессор, гл. науч. сотр. ФГБУН Институт лесоведения Российской академии наук (ИЛАН РАН), md.merzlenko@mail.ru

Мельник Петр Григорьевич [✉] — канд. с.-х. наук, доцент ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (Мытищинский филиал); ст. науч. сотр. ФГБУН «Институт лесоведения Российской академии наук» (ИЛАН РАН), melnik_petr@bk.ru

Тишков Артем Сергеевич — мл. науч. сотр., ФГБУН Институт лесоведения Российской академии наук (ИЛАН РАН), artemtishkov@mail.ru

Поступила в редакцию 21.08.2023.

Одобрено после рецензирования 28.09.2023.

Принята к публикации 28.11.2023.

FOREST FORMING SPECIES OF EUROPEAN SPRUCE IN SMOLENSK-MOSCOW UPLANDS

M.D. Merzlenko¹, P.G. Melnik^{1,2✉}, A.S. Tishkov¹

¹Institute of Forest Science Russian Academy of Sciences, 21, Sovetskaya st., 140030, Uspenskoe, Moscow Region, Russia

²BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

melnik_petr@bk.ru

The results of a study of European spruce (*Picea abies* (L.) Karst.), which is a primary forest species and an integral component of forest biogeocenosis in the mixed forests zone, are given. According to the data obtained, forest lands covered with spruce forests in the forest areas of the Smolensk-Moscow Uplands range from 16 to 65 %. Wood sorrel spruce forests and composite spruce forests, formed on moraine and cover loams, are predominant. Both natural and artificial spruce stands are able to grow according to Ia and I bonitet classes, reaching high stocks of stem wood (600 m³/ha and even more). The silvicultural precocity of spruce forest crops in combination with a biological short life (due to recurrent droughts) was determined. Therefore, in order to find out the trends in spruce tree productivity dynamics and on this basis to justify the appropriate cutting age of artificial spruce stands, the relevant studies were carried out in five forestries of the Smolensk-Moscow Upland. It has been established that the maximum results of wood accumulation in terms of trunk volume are characteristic of the dominant trees (I and II) of Kraft classes. For the dominant group of trees (Kraft classes I–III), an intensive increase in growth is observed up to sixty-five years, and for subordinate trees (Kraft classes IV and V) — up to fifty five years. Given the decline in the life potential of spruce trees after 70 years of age, it is not recommended to leave spruce stands after 80 years of age.

Keywords: Smolensk-Moscow upland, *Picea abies*, artificial forest plantations, dynamics of growth, cutting age

Suggested citation: Merzlenko M.D., Melnik P.G., Tishkov A.S. *El' evropeyskaya kak lesoobrazovatel' na Smolensko-Moskovskoy vozvyshennosti* [Forest forming species of European spruce in Smolensk-Moscow uplands]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2024, vol. 28, no. 1, pp. 5–13. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-1-5-13

References

- [1] Merzlenko M.D., Mel'nik P.G. *Lesovodstvennaya ekskursiya v lesa Klinско-Dmitrovskoy gryady* [A forest excursion to the forests of the Klin-Dmitrov ridge]. Moscow: MGUL, 2002, 93 p.
- [2] Kurnaev S.F. *Lesorastitel'noe rayonirovanie SSSR* [Forest Vegetation Regionalization of USSR]. Moscow: Nauka, 1973, 203 p.

- [3] Surozh I.I. *Sostav nasazhdeniy nashikh gosudarstvennykh lesov* [Composition of plantings of our state forests]. St. Petersburg, 1905, 268 p.
- [4] Merzlenko M., Melnik P., Zakharov A. Approbation of spruce population of various origin in geographical plantation in Central Russia. *Rastove procesy a pestovanie lesov v zmenenych ekologickich podmienkach*. Zvolen, 1997, pp. 125–132.
- [5] Shutov I.V., Markova I.A., Omel'yanenko A.Ya., Postnikov M.V., Tovkach L.N., Vlasov R.V., Podchivaev E.E., Sergienko V.G. *Plantatsionnoe lesovodstvo* [Plantation Forestry]. Ed. I.V. Shutov. Saint Petersburg: Polytech Publ., 2007, 366 p.
- [6] Alyabyev A.F. *Usykhaniye el'nikov Podmoskov'ya* [Shrinking of spruce forests in the Moscow region]. Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik, 2013, no. 6, pp. 159–165.
- [7] Gninenko Yu., Khegai I. *Dinamika usykhaniya elovyykh lesov v Moskovskom regione* [Dynamics of Shrinking Spruce Forests in the Moscow Region]. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya* [Forestry Information], 2018, no. 2, pp. 65–74. <https://doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2018.2.07>
- [8] Stanivuković Z., Vasiljević R. The most significant biotic harmful agents and their influence on the intensity of spruce (*Picea abies* Karst.) dieback on the Romanian plateau // *Forestry*, 2018, no. 3–4, pp. 21–41.
- [9] Zhdanovich S.A., Yurchenko E.O. *Biologicheskoe i strukturnoe raznoobrazie bioty derevoobitayushchikh makromitsetov v usloviyakh provedeniya / neprovedeniya sanitarnykh rubok na uchastkah massovogo usykhaniya eli v Belovezhskoy Pushhe* [Biological and structural diversity of the biota of wood-living macromycetes in conditions of conducting / non-conducting sanitary logging in areas of mass drying of spruce in Belovezhskaya Pushcha]. *Belovezhskaya Pushha. Issledovaniya* [Belovezhskaya Pushcha. Researches], iss. 16. Brest: Alternative, 2018, pp. 80–96.
- [10] Matyushevskaya E.V., Kiseleu V.N., Yarotou A.E., Mitrakhovich P.A., Devgut S.V. *Sravnitel'nyy analiz produktivnogo potentsiala eli na osushennoy i neosushennoy territoriyakh Belorusskogo Poles'ya* [Comparative analysis of the productive potential of spruce on the drainage and undrainage territories of the Belarusian Polesje]. *Zhurnal Belorusskogo gos. un-ta. Ekologiya* [J. Belarus. State Univ. Ecol.], 2018, no. 2, pp. 38–47.
- [11] Sarnatsky V.V. *Osnovnye lesokhozyaystvennye meropriyatiya po formirovaniyu, povysheniyu produktivnosti i ozdorovleniyu elovyykh drevostoev v usloviyakh Belarusi* [The main forestry measures for the formation, improvement of productivity and improvement of spruce stands in the conditions of Belarus]. Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2019, no. 1(222), pp. 74–81.
- [12] Krautsou S.L., Il'yuchik M. A., Golubtsov D.V., Kozel A.L., Pushkin A.A., Savko I.L., Romanovich K.A. *Prognoznyy monitoring razvitiya ochagov koroeda-tipografa v nasazhdeniyakh eli s ispol'zovaniem sputnikovykh i nazemnykh dannykh* [Forecast monitoring of the spread of the bark beetle-typographer in spruce planting with using satellite and ground data]. Proceedings of BSTU, iss. 1. Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2022, no. 1 (252), pp. 65–72.
- [13] Maslov A.D. *Usykhaniye elovyykh lesov ot zasukh na Evropeyskoy territorii SSSR* [Spruce Forests Drying Caused by Drought in the European Part of the USSR]. *Lesovedenie* [Sylviculture], 1972, no. 6, pp. 77–87.
- [14] 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.
- [15] Mukhametshina A.R., Shaikhraziev Sh.Sh. *Izuchenie sostoyaniya el'nikov Respubliki Tatarstan* [The study of the state of spruce forests of the Republic of Tatarstan]. *Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo hozyaystva* [Proceedings of the St. Petersburg Scientific Research Institute of Forestry], 2019, no. 2, pp. 71–79. <https://doi.org/10.21178/2079-6080.2019.2.71>
- [16] Vedernikov K.E., Bukharina I.L., Zagrebin E.A. *Dinamika i sostoyaniye elovyykh nasazhdeniy v Udmurtskoy Respublike* [Dynamics and condition of spruce plantations in the Udmurt Republic] // *Lesokhozyaystvennaya informatsiya* [Forestry Information], 2020, pp. 5–16. <https://doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2020.3.01>
- [17] Dmitriev E.V., Sokolov A.A., Kozoderov V.V., Delbarre H., Melnik P.G., Donskoi S.A. Spectral-texture classification of high resolution satellite images for the state forest inventory in Russia. *Proc. SPIE 11149, Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology*, 2019, t. XXI, v. 111491J. DOI: 10.1117/12.2532965
- [18] Matveeva A.G. *Issledovanie osobennostey usykhaniya elovyykh drevostoev na rossyskom Dal'nem Vostoke* [Investigation of the features of the drying of spruce stands in the Russian Far East]. *Uchenye zametki TOGU* [Scientific notes of TOGU], 2018, v. 9, no. 1, pp. 158–161.
- [19] Maksimova V.F., Mayorov L.A., Petropavlovskiy B.S. *Osnovnye faktory sredy, vliyayushchie na usykhaniye pikhtovo-elovyykh lesov Dal'nego Vostoka* [Main environmental factors influencing the drying of the far east fir-spruce forests]. *Vestnik Moskovskogo universiteta* [Moscow University Bulletin]. Series 5, Geography, 2019, no. 1, pp. 61–66.
- [20] Pukinskaya M.Yu., Kessel D.S., Shchukina K.V. *Usykhaniye pikhto-el'nikov Teberdinskogo zapovednika* [Drying of fir-spruce forests of the Teberdinsky Reserve]. *Botanical Journal*, 2019, v. 104, no. 3, pp. 337–62. <https://doi.org/10.1134/S0006813619030062>
- [21] Pirtskhalava-Karpova N.R., Karpov A.A., Grishchenko M.Yu., Kozlovsky E.E. *Issledovanie uchastkov lesa, podverzhennykh vliyaniyu koroeda-tipografa (Ips typographus) v zapovednike «Kuril'skiy» (o. Kunashir)* [Research of forest sites affected by the influence of eight-dentated bark beetle (*Ips typographus*) in the Kurilskiy reserve (Kunashir island)]. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forest Engineering J.], 2020, v. 10, no. 1, pp. 50–59. <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2020.1/5>
- [22] Ivanov D.G., Kurbatova J.A. Dynamics of *Picea abies* mortality and CO₂ and CH₄ fluxes from spruce trees decomposition in the southwest of the Valdai upland, Russia. *Nature Conservation Research. Zapovednaya nauka* [Reserved science], 2023, no. 8(2), pp. 33–43. <https://doi.org/10.24189/ncr.2023.013>
- [23] Merzlenko M.D., Babich N.A. *Teoriya i praktika vyrashchivaniya sosny i eli v kul'turakh* [Theory and practice of growing pine and spruce in crops]. Arkhangelsk: AGTU, 2002, 220 p.
- [24] Tolkach V.N., Kochanovsky S.B. *Kharakteristika klimata v rayone Belovezhskoy Pushchi* [Characteristics of the climate in the area of Belovezhskaya Pushcha]. *Belovezhskaya Pushcha. Researches*, iss. 9. Minsk: Urabay, 1975, pp. 3–35.
- [25] Timofeyev V.P. *Bor'ba s usykhaniem eli* [Fight against Spruce Drying out]. Moscow: Golesbumizdat, 1944, 48 p.
- [26] Vorontsov A.I. *Biologicheskoe osnovy zashchity lesa* [Biological bases of forest protection]. Moscow: Vysshaya shkola, 1963, 324 p.
- [27] Merzlenko M.D. *O vliyaniy dyatlov na stvolovyykh vrediteley v ochagakh kornevoy gubki* [On the influence of woodpeckers on stem pests in the foci of the root sponge]. *Zoologicheskii zhurnal* [Zoological J.], 1977, v. LVI, no. 6, pp. 929–934.

- [28] Zelikov V.D. *Materialy k kharakteristike vodnogo rezhima el'nikov raznogo vozrasta* [Materials for the characteristics of the water regime of spruce forests of different ages]. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 1958, no. 4, pp. 42–54.
- [29] Vakhrushev K.V., Absalyamov R.R. *Lesnoy kompleks Udmurtskoy Respubliki: sostoyanie, problemy, perspektivy razvitiya lesnykh otnoшений* [Forestry complex of the Udmurt Republic: state, problems, prospects for the development of forest relations]. *Lesa Evrazii — Lesa Povolzh'ya. Materialy XVII Mezhdunar. konf. molodykh uchenykh, posvyashchennoy 150-letiyu so dnya rozhdeniya professora G.F. Morozova, 95-letiyu Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta i Godu ekologii v Rossii* [Eurasian Forests — Forests of the Volga Region: Materials of the XVII International Conference of Young Scientists, dedicated to the 150-th Anniversary of Professor G.F. Morozov, 95-th anniversary of Kazan State Agricultural University and to the Year of Ecology in Russia.], Kazan', 22–28 October 2017. Moscow: Maska, 2017, pp. 34–38.
- [30] OST 56-69–83. *Probynye 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.
- [31] Anuchin N.P. *Lesnaya taksatsiya* [Forest taxation]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forest industry], 1971, 512 p.
- [32] Kraft G. *Beiträge zur Lehre von den Durchforstungen, Schlagstellungen und Lichtungshieben*. Hannover: Klindworth's Verlag, 1884, 147 p.
- [33] Tret'yakov N.V. *Zakon edinstva v stroenii nasazhdeniy* [The law of unity in the structure of plantations]. Leningrad: New village, 1927, 113 p.
- [34] Polyakov A.N., Ipatov L.F., Uspenskiy V.V. *Produktivnost' lesnykh kul'tur* [Productivity of forest crops]. Moscow: Agropromizdat, 1986, 240 p.
- [35] Merzlenko M.D. *K voprosu raspada iskusstvennykh nasazhdeniy eli* [On the Issue of Decline of Artificial Plantations of Spruce]. *Nauch. tr. MLTI* [Transactions of MLTI]. Moscow: MLTI, 1990, no. 234, pp. 79–82.
- [36] Turmer K.F. *Pyat' desyat let lesokhozyaystvennoy praktiki* [Fifty Years of Forestry Practice]. Moscow: Tipografiya E. Lissnera i Yu. Romanova, 1891, 186 p.
- [37] Merzlenko M.D., Mel'nik P.G. *Opyt lesovodstvennogo monitoringa v Nikol'skoy lesnoy dache* [Experience of silvicultural monitoring in Nikolskaya forest estate]. Moscow: MSFU, 2015, 112 p.
- [38] Shtukin S.S. *Lesovosstanovlenie vyrubok usykhayushchikh el'nikov* [Reforestation of felling shrinking spruce forests]. *Proceedings of BSTU, iss. 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2018, no. 2 (210), pp. 116–120.

Authors' information

Merzlenko Mikhail Dmitrievich — Dr. Sci. (Agriculture), Professor, Chief Scientist, Institute of Forest Science Russian Academy of Sciences, md.merzlenko@mail.ru

Mel'nik Petr Grigor'evich — Cand. Sci. (Agricultural), Assoc. Prof. BMSTU (Mytishchi branch); Senior Staff Scientist, Institute of Forest Science Russian Academy of Sciences, melnik_petr@bk.ru

Tishkov Artem Sergeevich — pg., Junior research assistant of the Institute of Forest Science Russian Academy of Sciences, artemtishkov@mail.ru

Received 21.08.2023.

Approved after review 28.09.2023.

Accepted for publication 28.11.2023.

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

ЛЕСНЫЕ НАСАЖДЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ ГЛАВНОГО БОТАНИЧЕСКОГО САДА ИМЕНИ Н.В. ЦИЦИНА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК: ОХРАНА, РЕКОНСТРУКЦИЯ, РЕАБИЛИТАЦИЯ?...

О.В. Беднова¹✉, С.Л. Рысин²

¹ФГБОУ 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

²ФГБУН «Главный ботанический сад имени Н.В. Цицина Российской академии наук» (ГБС РАН), Россия, 127276, Москва, Ботаническая ул., д. 4

bednova@mgul.ac.ru

Рассмотрена проблема сохранения устойчивости естественных лесных насаждений на территории Главного ботанического сада имени Н.В. Цицина Российской академии наук. Приведены результаты специального лесоэкологического обследования, позволяющие сделать вывод о том, что лесные насаждения ГБС в целом отличаются довольно высоким для урбанизированных условий уровнем сохранности естественной лесной среды. Установлено, что как в заповедной, так и в буферной, части лесного массива протекают однонаправленные сукцессионные процессы: отмирание и выпадение старовозрастных дубовых деревьев, отсутствие благонадежного возобновления дуба черешчатого, локальное формирование древесного яруса из аборигенных лиственных пород — липы, клена, березы, экспансия лещины в подлеске на большей части площади. При существующем положении становятся ничтожными перспективы существования устойчивого насаждения с участием дуба, в связи с чем в статье обсуждаются возможные варианты вмешательства в формирование будущего облика лесного массива: реализация полицентрического природоохранного зонирования, реконструкция насаждений, реинтродукция дуба черешчатого (*Quercus robur* L.).

Ключевые слова: ботанический сад, лесные биогеоценозы, *Quercus robur* L., подрост, реконструкция насаждений, экологическая реабилитация

Ссылка для цитирования: Беднова О.В., Рысин С.Л. Лесные насаждения на территории Главного ботанического сада имени Н.В. Цицина Российской академии наук: охрана, реконструкция, реабилитация?... // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2024. Т. 28. № 1. С. 14–27. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-1-14-27

Лесные насаждения Главного ботанического сада имени Н.В. Цицина Российской академии наук (ГБС РАН) представляют собой сохранившийся до настоящего времени фрагмент некогда обширного Останкинского лесного массива на северо-востоке Москвы [1]. Именно на его основе в 1945 г. был организован ботанический сад. Согласно сохранившимся таксационным и ботаническим описаниям 1940-х годов территория, отводимая под строительство ботанического сада (площадью 363 га по первоначальному проекту), имела следующую структуру: сомкнутые древесные насаждения — 223,5 га; редины — 48 га; поляны — 80,2 га, прочие виды использования территории — всего 11,3 га.

Три четверти общей площади лесных насаждений были заняты участками с преобладанием дуба (50,8 %), сосны (19 %), березы (16 %), липы (0,2 %) и ели (1 %) и только 13 % площади приходилось на менее ценные породы (11 % — осина и 2 % — ольха). Насаждения с полнотой от 0,5 и выше занимали 171,2 га (76 %), из которых 89,7 га — участки дубрав [2]. Поляны и редины

(в основном из осины и ольхи с одиночными дубами, березами, елями) располагались преимущественно на периферийных территориях, и, главным образом, именно они были запроектированы под размещение экспозиционных участков, дорог и сооружений, а участки дубрав со старовозрастными деревьями, светлых березняков и смешанного леса были сохранены. В данном случае специалисты отошли от сложившейся при проектировании ботанических садов традиции, разместив коллекции не в центральной части, а по периферии существующего лесного массива [3].

Помимо этого, был использован прием функционального зонирования лесопарковой территории. В частности, для изучения динамических тенденций, которые складываются в лесном массиве в условиях урбанизированной среды, в 1949 г. был выделен участок леса площадью 22 га — так называемая Заповедная дубрава. В ее границах исключалось проведение каких-либо лесохозяйственных мероприятий и рекреационное использование. Предполагалось, что в Заповедную дубраву будет разрешен доступ только с исследовательскими целями.

Спустя четверть века заповедное ядро даже было локализовано по периметру высоким металлическим забором (по-видимому, к этому времени рекреационная нагрузка на лесопарковые насаждения ГБС РАН заметно увеличилась в связи освоением окружающей его территории под жилую застройку). Тем не менее объектом активных исследований лесные насаждения были только на протяжении первого десятилетия после организации ГБС РАН. К числу наиболее значительных в этой связи можно отнести следующие:

- работы по составлению подробной почвенной карты [4];
- детальное обследование флоры и типов растительности [5];
- изучение состава и структуры лесных фитоценозов [6].

Впоследствии исследования и в лесных насаждениях ГБС РАН в целом, и в Заповедной дубраве в частности, не имели систематического характера.

Естественные лесные насаждения общей площадью 199 га занимают значительную часть территории ботанического сада (65 % площади) и в настоящее время. При этом нет оснований говорить о принципиальном изменении долевого участия тех или иных древесных пород в их составе. Однако очевидны факты старения древостоев, усыхания и выпадения старовозрастных деревьев, и, как следствие, ухудшения санитарного состояния насаждений (особенно, в Заповедной дубраве, где лесохозяйственные санитарные мероприятия не проводятся). В подпологовом пространстве на большей части площади отмечается экспансия лещины обыкновенной, которая активно захватывает экологические ниши в окнах вывалов, препятствуя росту других подлесочных пород и подростов [7]. Реальными становятся перспективы радикального упрощения структуры и обеднения видового состава лесных фитоценозов.

Есть и еще один настораживающий факт. Так же, как и для любой активно посещаемой территории, для ГБС РАН актуальной является проблема регулирования рекреационных нагрузок. В 2019 г. были проведены исследования по оценке рекреационного потенциала лесопарковых насаждений [8]. По их результатам был сделан вывод о том, что, несмотря на высокий уровень антропогенных нагрузок, насаждения на территории ГБС РАН достаточно эффективно решают проблему организации отдыха городского населения на природе. Однако с течением времени без проведения комплекса хозяйственных мероприятий насаждения будут деградировать, а это повлечет за собой существенное увеличение антропогенного пресса на экспозиционные участки ботанического сада.

Таким образом, естественный лесной массив на территории ГБС РАН в настоящее время стал своего рода узлом средоточия проблем в сфере выбора адекватных стратегических планов и тактических приемов по поддержанию его устойчивости.

Цель работы

Цель работы — оценка степени сохранности и векторов динамики лесной среды в насаждениях на территории ГБС РАН, а также рассмотрение возможных вариантов вмешательства в формирование будущего облика лесного массива.

Методы и объекты исследования

Оценка сохранности лесной среды в насаждениях проводилась на основе значений интегрального показателя — индекса структурного разнообразия (ИСП). Этот индекс построен на основе информационной меры Бриллюэна — одного из универсальных показателей разнообразия в теории информации [9]. Наряду с индексом Шеннона он используется для исследований биологического разнообразия и обработки мониторинговых результатов и рассчитывается по формуле

$$H_{str} = -\frac{1}{M} \ln \frac{m_1! m_2! m_3 \dots m_i!}{M!},$$

где M — суммарная оценка по всем структурным элементам;

m_i — значение i -го элемента структурного разнообразия, т. е. вида местообитания (например, деревьев, пней, временных водоемов).

В мониторинговых исследованиях в качестве элементов структурного разнообразия используют непосредственно параметры видового разнообразия (количество видов и соотношение их обилий) или другие структурные элементы биогеоценоза [10]. Так, все ярусы лесного фитоценоза являются главными структурными компонентами лесной экосистемы. Однако помимо них есть элементы лесного биогеоценоза, которые определяют особенности видовой структуры, а также количество и разнообразие биотических связей: запасы валежа, структура и мощность лесной подстилки и т. п. Значение ИСП косвенно отражает состояние лесного видового разнообразия, и, характеризуя потенциальное богатство биотических связей, позволяет сравнивать разные лесные биогеоценозы. Динамические и пространственные ряды значений ИСП облегчают обработку мониторинговых результатов и дают возможность их визуализировать. Ранее была разработана и апробирована система учета и оценки [11] представленности ключевых элементов структурного разнообразия в лесных биогеоценозах (табл. 1).

Т а б л и ц а 1
**Система учета и оценки представленности
 ключевых элементов структурного
 разнообразия в биогеоценозах**
**System of accounting and assessment of biogeocenoses
 structural diversity key elements**

Ключевые элементы структурного разнообразия	Результаты полевых учетов	Численная оценка, баллы
Число видов сосудистых растений	До 10	1
	От 11 до 25	5
	Более 25	10
Общее количество деревьев на пробной площади	До 15	1
	От 16 до 30	5
	От 31 и более	10
Количество деревьев с диаметром ствола более 10 см	До 15	1
	От 16 до 30	5
	От 31 и более	10
Количество растений подлесочных пород	Отсутствуют или представлены только малиной и бузиной	0
	До 10	1
	От 11 до 25	2
	От 26 до 50	4
	От 51 до 75	6
	От 76 до 100	8
	Более 100	10
Подрост	Менее 0,1 экз./м ²	0
	От 0,1 до 1 экз./м ²	1
	От 1 до 5 экз./м ²	5
	От 5 и более экз./м ²	10
Лесные виды в составе травянисто-кустарничкового яруса (доля в суммарном обилии травянисто-кустарничкового яруса, %)	До 5	0
	От 5 до 25	1
	От 26 до 50	3
	От 51 до 75	5
	От 76 и более	10
Глубина лесной подстилки	До 1 см	1
	От 1 см до 2 см	2
Состав лесной подстилки	Хвоя или листва	1
	Хвоя и листва	2
Пни	Число пар пней на расстоянии друг от друга:	
	более 5 м	1
	от 2 м до 5 м	2
Валеж	Менее 2 м	3
	Количество фрагментов валежа размерами более 2 м в длину и диаметром от 8 см, шт.	1 (за каждый экземпляр)
	Старовозрастные деревья	Количество экземпляров, шт.

Для сбора необходимой информации в лесных насаждениях на территории ГБС РАН была и заложена сеть из 10 круговых пробных площадей (ПП) размером 500 м²: в границах Заповедной дубравы — 5 шт., в буферной зоне — 5 шт. (рис. 1).

При выборе мест закладки руководствовались принципами рандомизированного отбора и наиболее полного охвата разнообразия типов лесных фитоценозов.

В границах ПП учитывались элементы структурного разнообразия. При этом подрост в большинстве случаев учитывался на пробной площадке в 25 м², заложенной вокруг центрального дерева на ПП, а при редком размещении — по всей ПП.

Помимо учета элементов структурного разнообразия на ПП в программу полевых работ входили:

- перечет деревьев по ступеням толщины и категориям состояния;
- геоботанические описания травяно-кустарничкового яруса с последующей комбинированной оценкой обилия-покрытия;
- оценка объемов валежа.

Оценку полученных значений ИСР проводили на основе ранжированной шкалы, разработанной ранее для лесных участков городских ООПТ: значение индекса «до 1,45» соответствует состоянию участка леса, находящегося на пятой стадии рекреационной дигрессии, «от 1,45 и менее 1,55» — на четвертой; «от 1,55 и менее 1,70» — на переходной фазе от третьей к четвертой стадиям (ячеистая структура фитоценоза); «от 1,70 и менее 1,85» — на третьей; «от 1,85 и более» — соответствует первой и второй стадиям рекреационной измененности лесного фитоценоза [12].

Результаты и обсуждение

По результатам рекогносцировочного обследования насаждений выделены следующие типы леса: березняк с дубом зеленчуковый, дубрава зеленчуковая, дубрава волосистоосоково-снытевая, дубрава зеленчуково-волосистоосоковая, дубрава зеленчуково-снытевая, березняк с сосной и липой разнотравный. В табл. 2 приведены характеристика соответствующих лесных фитоценозов и результаты интегральной оценки сохранности лесной среды с помощью ИСР.

Все ключевые элементы структурного разнообразия в биогеоценозах представлены (рис. 2). Можно было бы предположить, что при относительно невысоких рекреационных нагрузках уровень значений ИСР, характеризующий большую часть насаждений, включая заповедную зону, окажется высоким. Тем не менее малонарушенные участки леса (значения ИСР от 1,85 и выше) отмечаются локально, а основной фон

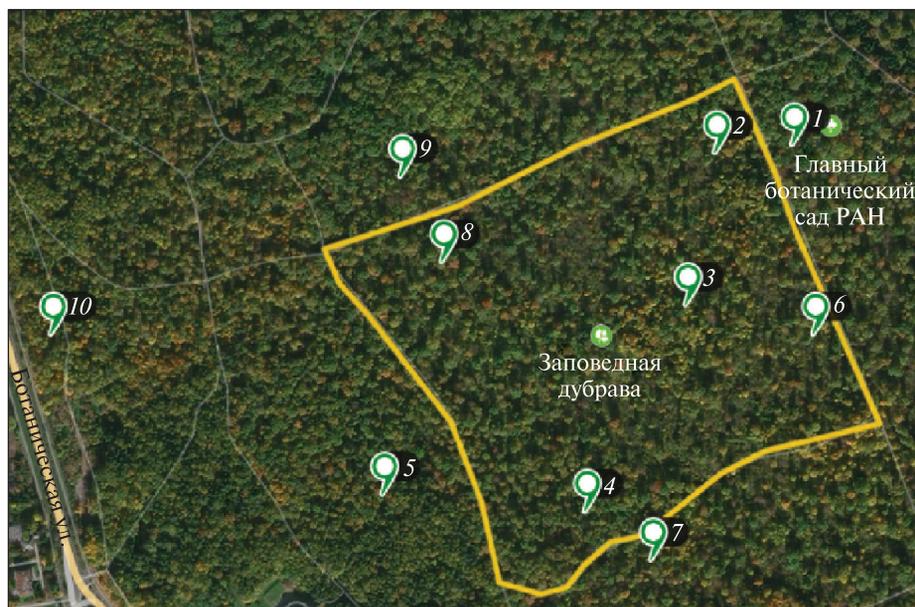


Рис. 1. Схема расположения пробных площадей (1–10), желтым контуром обозначены границы Заповедной дубравы

Fig. 1. Scheme of sample plots (1–10), yellow outline indicates the boundaries of the Zapovednaya oak forest

создают биогеоценозы с умеренно обедненной структурой. Причем в буферной зоне Заповедной дубравы можно наблюдать более ровную и благополучную картину. Внутри же заповедного ядра явно выделяется центральная зона с наиболее сохранившейся структурой (ППЗ и ПП4), а краевые участки — качественно ниже (см. табл. 2). Интересно, что в данном случае на значения ИСР влияют не формирование тропиной сети и не трансформация травяно-кустарничкового яруса (его олуговение и рудерализация), характерные для городских и пригородных лесопарков. Так, сильно выраженной тропиной сети с минерализованными участками почвы нет, хотя не являются редкостью следы пребывания «стихийных рекреантов», приуроченные главным образом к скоплениям валежа, в том числе и в заповедной зоне. В травяно-кустарничковом ярусе преобладают виды лесных эколого-ценотических групп (табл. 3). Доминируют зеленчук желтый (*Galeobdolon luteum*), сныть обыкновенная (*Aegopodium podagraria*), осока волосистая (*Carex pilosa*), копытень европейский (*Asarum europaeum*), пролесник многолетний (*Mercurialis perennis*). Сорные виды практически отсутствуют, а из заносных — повсеместно, но со сравнительно небольшим обилием, отмечена недотрога мелкоцветковая (*Impatiens parviflora*). И в буферной зоне, и в заповедном ядре хорошо развит подлесочный ярус из лесных видов: рябины обыкновенной (*Sorbus aucuparia*), черемухи обыкновенной (*Prunus padus*), бересклета бородавчатого (*Euonymus verrucosus*), жимолости обыкновенной



Рис. 2. Фрагмент лесного насаждения на территории ГБС
Fig. 2. Fragment of a forest plantation in the GBS territory

(*Lonicera xylosteum*), крушины ломкой (*Frangula alnus*), калины обыкновенной (*Viburnum opulus*) и др. Практически повсеместно отмечается сильное разрастание лещины обыкновенной (*Corylus avellana*).

Относительно невысокий уровень значений ИСР для лесного массива в целом отражает определенные диспропорции в структуре лесных фитоценозов. Проанализируем их.

Основу современного древесного полога составляет низкополнотный ярус старовозрастных дубов, доля которых в запасе древостоев до сих пор остается значительной. Об этом свидетельствуют соотношения сумм площадей поперечного сечения (табл. 4) по древостою в целом ($\Sigma G_{\text{общ}}$) и по дубу ($\Sigma G_{\text{д}}$). В то же время количество сохранившихся экземпляров дуба невелико, преимущественно это сильно ослабленные, усыхающие и сухостойные деревья. Наличие второго яруса

Т а б л и ц а 2

**Сохранность лесной среды
в насаждениях ГБС РАН**
**Preservation of forest environment
in the GBS RAS plantations**

Но- мер проб- ной пло- щади	Состав древостоя; средний диаметр ствола, см	Тип условий местопрорас- тания, тип леса	Зна- чение ИСР
Заповедная дубрава			
2	1 ярус: 7БЗД; 54 2 ярус: 10 Кло; 18	D ₂ березняк с дубом зеленчу- ковый	1,63
3	1 ярус: 10Д; 47 2 ярус: 6Р64Кло +Е; 21	D ₂ дубрава зеленчуковая	1,76
4	1 ярус: 10Д; 73 2 ярус: 8Б2Лп + РБ, Кло; 33	D ₂ дубрава зеленчуковая	1,86
6	1 ярус: 10Д; 43 2 ярус: 6Чр2Р62Кло; 24	D ₂ дубрава зеленчуковая	1,74
8	1 ярус: 10Д; 59 2 ярус: 10Р6; 18	D ₂ ~D ₃ , дубрава зеленчуково- снытевая	1,66
Буферная зона			
1	1 ярус: 10Д+Ос; 64 2 ярус: 9Р61Кло; 23	D ₂ дубрава зеленчуковая	1,81
5	1 ярус: 10Д+С; 53 2 ярус: 8Б2Кло; 28	D ₂ дубрава зеленчуково- волосистоосо- ковая	1,88
7	1 ярус: 10Д; 90 2 ярус: 5Лп4Кло1Б; 29	D ₂ дубрава зеленчуковая	1,86
9	1 ярус: 10Д; 49 2 ярус: 8Лп2Ос + Б; 23	D ₂ ~D ₃ , дубрава зеленчуково- снытевая	1,80
10	1 ярус: 6Б2С2Лп+С; 32 2 ярус: 3Б2Лп2Р- 61Чр2Кло; 14	С ₂ березняк с сосной и липой разнотравный	1,82

характерно практически для всех обследованных участков леса. Однако деревья второго яруса немногочисленны, поэтому общее число деревьев на ПП невелико. Исключения составляют насаждения краевых участков буферной зоны (ПП 10), где второй ярус древесной растительности является хорошо сформировавшимся структурным элементом древостоя. Можно предположить, что некогда эти участки лесного массива были открыты для проникновения со стороны прилегающих территорий семенного пула быстрорастущих древесных пород и нелесных, в том числе и адвентивных, видов кустарников и трав.

Важно отметить, что благонадежное естественное возобновление дуба повсеместно отсутствует, а основную долю участия в подросте имеет клен остролистный (табл. 5). Образующиеся при вывалах деревьев участки с минерализованной почвой первое время могут обильно заселяться недолго живущим самосевом дуба.

Отсутствие благонадежного возобновления дуба под пологом насаждений в ГБС РАН является вполне закономерным сукцессионным явлением, связанным с биоэкологическими видовыми особенностями дуба черешчатого. Об этом свидетельствуют результаты многочисленных лесоводственных исследований, проведенных в разных регионах [14–16]. В природе даже в оптимальных для дуба условиях произрастания (на возвышенностях и в поймах рек) естественное семенное возобновление остается неудовлетворительным [17, 18]. Лесохозяйственный опыт свидетельствует о том, что без специальных мероприятий по содействию возобновлению и лесокультурных работ переломить ход естественных процессов невозможно [19–21]. Следует подчеркнуть, что сильно действующим фактором противодействия естественному возобновлению дуба непосредственно

Т а б л и ц а 3

Распределение видов травяно-кустарничкового яруса по эколого-фитоценотическим группам
Distribution of the herb-shrub layer species by ecological and phytocenotic groups

Номер пробной площади	Количество видов на пробной площади, шт.	Доля в суммарном обилии видов отдельных эколого-фитоценотических групп*, %						
		Немораль- ные	Неморально- бореальные	Боровые	Березняко- вые	Ольшани- ковые	Лугово- лесные	Сорные и заносные
1	5	–	83,8	–	–	–	12,2	4
2	9	8,6	77,6	–	–	–	–	13,8
3	8	0,9	76,7	–	–	–	4,3	18,1
4	9	7,7	60,9	–	–	–	14,2	17,2
5	10	8,8	73,5	–	–	–	5,5	12,2
6	5	17,7	68,8	–	–	–	–	13,5
7	10	31,5	44,0	–	–	–	5,6	18,9
8	11	41,6	47,1	–	–	–	0,5	10,8
9	10	45,9	38,8	–	–	–	2,9	12,4
10	17	15,5	16,9	2,8	12	3,5	31,7	17,6

*Использована классификация эколого-фитоценотических групп по системе С.А. Ильинской [13].

Т а б л и ц а 4

Состояние дуба в древостоях насаждений ГБС РАН (по данным пробных площадей)

The state of oak in the plantings of MBG of the RAS (according to data of sample plots)

Номер пробной площади	Состав древостоя; средний диаметр ствола дуба, см	Учтено деревьев		Суммы площадей поперечного сечения, м ²		Средняя категория состояния*
		Всего	Дуба	$\Sigma G_{\text{общ}}$	$\Sigma G_{\text{д}}$	
Заповедная дубрава						
2	1 ярус: 7БЗД; 45,2 2 ярус: 10 Кло	10	1	0,7972	0,1605	1,0
3	1 ярус: 10Д; 46,7 2 ярус: 6Р64Кло+Е	16	2	0,7223	0,3421	4,0
4	1 ярус: 10Д; 72,6 2 ярус: 8Б2Лп + Рб, Кло	22	5	3,1335	2,2620	4,6
6	1 ярус: 10Д; 43,1 2 ярус: 6Чр2Р62Кло	11	2	0,4636	0,1140	2,0
8	1 ярус: 10Д; 59,1 2 ярус: 10Рб	7	4	0,9397	0,8533	3,3
Буферная зона						
1	1 ярус: 10Д+Ос; 63,8 2 ярус: 9Р61Кло	11	5	1,9408	1,6301	2,6
5	1 ярус: 10Д+С; 51,5 2 ярус: 8Б2Кло	16	6	1,9746	1,4207	3,3
7	1 ярус: 10Д; 90,0 2 ярус: 5Лп4Кло1Б	23	3	2,5388	1,9163	2,3
9	1 ярус: 10Д; 49,4 2 ярус: 8Лп2Ос + Б	16	3	1,2400	0,5825	4,7
10	1 ярус: 6Б2С2Лп+С 2 ярус: 3Б2Лп2Р61Чр2Кло	66	0	3,3161	–	–

*Использована 6-бальная шкала категорий состояния деревьев.

Т а б л и ц а 5

Естественное возобновление в лесных насаждениях ГБС РАН

(по данным учетов на пробных площадях)

Natural regeneration in forest plantations of GBS RAS (according to data of surveys on sample plots)

Номер пробной площади	Порода	Учтено экземпляров, шт.		Высота, м		Доля благонадежного подроста, %
		Всего	В том числе без признаков ослабления	Интервал	Средняя	
Заповедная дубрава						
2	Клен остролистный	8	3	0,2...1,3	0,6	37,5
3	Клен остролистный	21	18	0,1...0,8	0,2	83,0
	Рябина обыкновенная	2	2	0,6...0,8	0,7	
4	Клен остролистный	17	16	0,3...2,8	0,8	94,1
6	Черемуха обыкновенная	17	7	0,2...3,3	0,9	63,8
	Клен остролистный	63	44	0,2...1,9	0,9	
8	Дуб черешчатый	99	0	0,1...0,3	0,2	10,4
	Клен остролистный	15	15	0,2...2,5	0,9	
Буферная зона						
1	Клен остролистный	62	56	0,2...3,2	0,9	83,6
	Дуб черешчатый	5	0	0,2...1,6	0,7	
5	Клен остролистный	9	6	0,2...1,0	0,4	66,6
7	Клен остролистный	22	14	0,2...3,1	0,5	63,0
	Рябина обыкновенная	4	3	0,7...0,9	0,8	
	Липа мелколистная	1	0	–	1,0	
9	Липа мелколистная	7	0	0,2...1,4	0,9	0
10	Клен остролистный	13	9	0,1...0,9	0,2	80,0
	Черемуха обыкновенная	11	11	0,1...1,8	1,0	
	Липа мелколистная	1	0	–	0,2	

в ГБС РАН является экспансия лещины в подлеске. Специальные исследования сглаженных значений прироста дуба и лещины показали их колебания в противофазе, что является эффектом межвидовой конкуренции [22].

К сожалению, отсутствие результатов регулярных мониторинговых наблюдений лишает возможности получить представление о динамике распада древостоев. Наличие в насаждении валежа различной давности свидетельствует о том, что усыхание и вывалы старовозрастных деревьев происходили и происходят здесь регулярно, при этом объем захламленности в Заповедной дубраве выше, чем за ее пределами (табл. 6).

Валеж и сухостой заселяются дереворазрушающими грибами, характерными для данных типов леса: факультативными сапротрофами, факультативными паразитами и облигатными сапротрофами (табл. 7, рис. 3). Ведущее значение в отмирании старовозрастных дубов имеет серно-желтый трутовик (*Laetiporus sulphureus*), вызывающий красно-бурую призматическую ядровую гниль. Этот патоген относится к

Т а б л и ц а 6

Захламленность в лесных насаждениях на территории ГБС РАН
Deadwood stock in forest plantations on the territory of MBG of the RAS

Заповедная дубрава		Буферная зона	
Номер пробной площади	Объем валежа, м ³	Номер пробной площади	Объем валежа, м ³
2	3,47	1	0,72
3	7,96	5	1,85
4	6,81	7	5,11
6	5,89	9	3,36
8	4,06	10	0,47

факультативным сапротрофам. Его мицелий способен развиваться в древесине растущих деревьев десятилетиями. Пораженные гнилью деревья подвергаются бурелому. Живые, ослабленные стволовыми гнилями, деревья, а также их буреломные и ветровальные остатки заселяются опенком (р. *Armillaria*). Развитию последнего способствует не только наличие подходящего

Т а б л и ц а 7

Дереворазрушающие грибы в лесных насаждениях ГБС
Wood-destroying fungi in GBS forest plantations

Номер п/п	Вид	Экологическая группа	Вид субстрата (древесная порода, вид кустарника)
1	<i>Fomes fomentarius</i> (L.) Fr. Настоящий трутовик	Факультативный паразит	Береза
2	<i>Fomitopsis pinicola</i> (Sw.) (P. Karst.) Окаймленный трутовик	То же	Дуб
3	<i>Ganoderma applanatum</i> (Pers.) Pat. Плоский трутовик	«←»	Липа
4	<i>Daedaleopsis septentrionalis</i> (P. Karst.) Niemelä Дедалеопсис северный	Сапротроф	Ива козья
5	<i>Laetiporus sulphureus</i> (Bull.) Murril Серно-желтый трутовик	Факультативный сапротроф	Дуб, липа
6	<i>Lenzites betulinus</i> (L.) Fr. Ленцитес березовый	Сапротроф	Береза
7	<i>Phellinus robustus</i> (P. Karst.) Bourdot et Galzin Ложный дубовый трутовик	Факультативный сапротроф	Дуб
8	<i>Phellinus tremulae</i> (Bondartsev) Bondartsev & P.N. Borisov Осиновый трутовик	То же	Осина
9	<i>Pleurotes ostreatus</i> (Fr.) Kumm Вешенка устричная	Факультативный паразит	Береза
10	<i>Schisofillum commune</i> Fr. Щеделлистник обыкновенный	Сапротроф	Береза, липа, рябина, лещина
11	<i>Stereum hirsutum</i> (Willd.) Pers. Стереум шерстистый	Факультативный паразит	Береза
12	<i>Stereum rugosum</i> (Pers: Fr.) Fr. Стереум морщинистый	Сапротроф	Рябина, лещина
13	<i>Trametes versicolor</i> (L.: Fr.) Pilat. Кориол разноцветный	То же	Рябина
14	<i>Trichaptum pargamentum</i> = <i>T. bifforme</i> (Fr.) Ryvarden Трихаптам двоякий	«←»	Береза



Laetiporus sulphureus (Bull.) Murril
Серно-желтый трутовик



Pleurotes ostreatus (Fr.) Kumm
Вешенка устричная



Trametes versicolor (L.Fr.) Pilat.
Кориол разноцветный



Lenzites betulinus (L.) Fr.
Ленцитес березовый



Schisofillum commune Fr.
Щелелистник обыкновенный



Ganoderma applanatum (Pers.) Pat.
Плоский трутовик

Рис. 3. Дереворазрушающие грибы в лесных насаждениях ГБС РАН
Fig. 3. Wood-destroying fungi in forest plantations of GBS RAS

древесного субстрата, но и создание лещиновым подлеском благоприятного микроклимата для роста ризоморф.

Развитость подлеска, наличие валежа и старовозрастных дуплистых деревьев повышают привлекательность насаждений ГБС РАН для лесных птиц. Тетеревятник (*Accipiter gentilis*), чеглок (*Falco subbuteo*), сойка (*Garrulus glandarius*), ворон (*Corvus corax*), крапивник (*Troglodytes troglodytes*), зеленая пеночка (*Phylloscopus trochiloides*), малая мухоловка (*Ficedula parva*), черный дрозд (*Turdus merula*), зеленушка обыкновенная (*Chloris chloris*), дубонос (*Coccothraustes coccothraustes*) отмечаются здесь как более или менее регулярно гнездящиеся виды, время от времени фиксируются встречи длиннохвостой неясыти (*Strix uralensis*) и ушастой совы (*Asio otus*) [23]. В лесной подстилке и в разлагающейся древесине находят прибежище беспозвоночные энтомофаги и сапрофаги.

В целом лесные насаждения ГБС РАН отличаются довольно высоким для урбанизированных условий уровнем сохранности естественной лесной среды. Как в Заповедной дубраве, так и в буферной части лесного массива протекают однотипные сукцессионные процессы: отмирание и выпадение старовозрастных экземпляров дуба черешчатого; отсутствие благонадежного возобновления этой породы; локальное формирование древесного яруса из аборигенных лиственных пород — липы, клена, березы; экспансия лещины в подлеске на большей части площади. Можно констатировать факт нивелирования состояния лесных фитоценозов Заповедной дубравы и буферной зоны.

Площадь, занятая в пределах ГБС РАН лесными насаждениями, в настоящее время представляет собой пространство лесного биотопа, который не претерпел существенных антропогенных трансформаций, чему способствовали рекреационное обустройство территории и статус ООПТ. Это имеет большое значение с природоохранной точки зрения: сохранившийся фрагмент Останкинского лесного массива является уже редким в условиях Москвы своего рода центром зонального лесного биоразнообразия.

Лесные насаждения в границах ГБС РАН обладают огромным потенциалом для экологического просвещения, в связи с чем назрела необходимость организации здесь экологической тропы. Последнее предполагает работу по изменению планировки территории лесного массива, лесохозяйственные санитарные мероприятия в определенном объеме, умеренное (т. е. не приводящее к «парковизации» леса) благоустройство. В конечном итоге, это означает переход от моноцентрического (т. е. прежнего выделения одной

заповедной зоны) к полицентрическому функциональному зонированию лесного массива. Участки насаждения (и, возможно, не только в границах Заповедной дубравы), сохраняющие лесную биогеоценотическую структуру, должны оставаться ядрами лесного биоразнообразия, продуманно локализованными приемами умеренного благоустройства. Они могут стать узловыми точками экологической тропы и основными компонентами сети лесоэкологического мониторинга.

Корректировка структуры внутреннего пространства насаждений в связи с природоохранным планированием в определенной мере способна снизить опасность усиления рекреационных нагрузок на коллекционные участки ботанического сада [8]. Однако отмирание полога старовозрастных дубовых деревьев и отсутствие естественного возобновления дуба черешчатого *Q. robur* ставит под сомнение перспективы существования устойчивого насаждения с его участком [24]. Названия «Останкинская дубрава» и «Заповедная дубрава» могут, таким образом, стать исключительно историческими. Значительное разрастание лещины снижает шансы успешного формирования нового древесного полога и из других лесообразующих пород, провоцируя прогрессирующее обеднение структуры лесных сообществ.

Каким же представляется выход из создавшегося положения?

В прикладной экологии оформились следующие природовосстановительные стратегии в отношении природных и природно-антропогенных экосистем:

– реабилитация — восстановление некоторых функций нарушенной экосистемы и некоторых прежних доминирующих видов;

– конструктивный подход — замена деградировавшей экосистемы другой, более продуктивной;

– реставрация — восстановление утраченной природной территории до первоначального видового состава и структуры путем активной программы реинтродукции [25].

Все они имеют место и в сфере экологического управления на урбанизированных территориях [26]. Базовый для города Москвы нормативный документ [27] определяет следующие направления для восстановления участков природной растительности:

– экологическая реставрация как восстановление утраченного участка природной растительности, приближенное к структуре и породному составу естественной растительности восстанавливаемого локального ландшафта;

– экологическая реабилитация как восстановление нарушенного (деградированного, трансформированного) участка естественной расти-

тельности устранением негативных факторов, препятствующих способности к естественному (или искусственному) восстановлению их природных качеств в соответствии со средой обитания локального ландшафта.

Как же соотносится природоохранный и природовосстановительный опыт с состоянием лесных насаждений в ГБС РАН?

В практике лесного хозяйства насаждения, не отвечающие экономическим и экологическим целям и не имеющие в составе любого яруса и в целом ценных деревьев в количестве, достаточном для формирования ценных насаждений, соответствующих данным лесорастительным условиям, считаются малоценными [28]. В целях повышения существующей производительности в малоценных насаждениях проводится реконструкция — комплексное мероприятие, включающее в себя рубку реконструкции и создание лесных культур целевых пород, направленное на коренное преобразование малоценных насаждений и обеспечивающее восстановление утраченной или существенное повышение существующей производительности участка леса [28]. Нет сомнений, что лесохозяйственный утилитарный подход к насаждениям на территории ГБС РАН абсолютно неприемлем, так как они расположены в границах ООПТ федерального («Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина Российской академии наук») и регионального («Природно-исторический парк «Останкино») значений, выполняя в первую очередь средообразующие, природоохранные и рекреационные функции. В связи с этим появляется необходимость разработки особой программы реконструкции насаждений, произрастающих в весьма специфических условиях ГБС РАН — значительного по площади зеленого «оазиса» среди жилой застройки, объединяющего на своей территории как экспозиции коллекционных растений, так и лесные участки.

В качестве научной основы при разработке технологии преобразования отдельных участков лесных насаждений на территории ГБС РАН, на наш взгляд, целесообразно использовать проектные решения, сформулированные и реализованные еще в начальный период его развития. Известный специалист в области городского зеленого строительства Л.О. Машинский в первом выпуске Бюллетеня Главного ботанического сада [2] предложил следующую концепцию освоения его территории при размещении экспозиций растений:

- реконструкцию следует начинать с участков, занятых кустарниками, редины и прогалинами;
- насаждения малоценных пород (осина, ольха), за исключением включенных в ботанические экспозиции, необходимо постепенно заменить;

- естественные насаждения ценных пород (дуба, липы, сосны, ели березы) следует полностью сохранить.

Подобный подход целесообразен и в настоящее время при преобразовании неоднородного пространства (малонарушенные лесные фитоценозы, редины, заросли лещины, прогалины со скоплениями валежа) внутри сохранившихся лесных насаждений, и главным образом в зоне Заповедной дубравы. Если же говорить о рубках, то в первую очередь они должны затронуть большинство участков с господством лещины, значительным будет и объем санитарных мероприятий.

Очевидна и «лесокультурная» составляющая реконструкции лесных насаждений ГБС РАН. Так, дуб черешчатый в лесных сообществах, сохранившихся на территории Москвы, представлен преимущественно старовозрастными или приближенными к этому возрастному рубежу деревьями. Многие из них имеют следы старых морозобойных повреждений, сломы крупных ветвей, признаки стволовых и комлевых гнилей. И, практически, для всех имеющихся лесных участков перспективна трансформация породного состава не пользу дуба [29]. Тем не менее в условиях города эта древесная порода достаточно газоустойчива, обладает пылеулавливающими способностями и устойчива к рекреационным нагрузкам. Однако, несмотря на многолетние поиски путей сохранения дубовых насаждений на территории московского региона, проблема до сих пор не разрешена. Как отмечалось ранее, реальной возможностью воспроизводства насаждений дуба в средней полосе России является только их искусственное восстановление путем посева и посадки культур. По объективным причинам традиционные и успешно апробированные на практике приемы создания лесных культур дуба [30,31] не могут быть использованы в условиях ООПТ [32]. Участки расстроенных насаждений в ГБС РАН представляют собой, по-видимому, перспективный испытательный полигон для апробации технологических разработок по возвращению дуба в городские леса. Целью лесокультурного эксперимента в данном случае становится восстановление угасающей популяции *Q. robur*, что предполагает соответствующий научно обоснованный подход. По сути дела, речь идет о реинтродукции вида [33–35] в лесные биогеоценозы. Для этого важно подобрать оптимальные способы создания лесных культур и последующих уходов за ними. В случае успеха такого лесовосстановительного проекта будет решена задача экологической реабилитации деградирующих участков лесных насаждений ГБС РАН.

Выводы

Таким образом, лесные насаждения на территории ГБС РАН отличаются довольно высоким для урбанизированных условий уровнем сохранности естественной лесной среды, что определяет значимость их средоформирующих, природоохранных и рекреационных свойств. В современных реалиях остро актуальна задача сохранения природной уникальности этих насаждений на фоне экологически безопасного повышения рекреационной емкости территории.

Приводимые результаты исследования состояния лесных биогеоценозов и анализ перспектив их устойчивости обосновывают необходимость корректировки современного облика лесных насаждений на территории ГБС РАН:

- полицентрического природоохранного зонирования;
- реконструкции насаждений;
- экологически обоснованного благоустройства.

Реализация этих направлений предполагает сочетание стратегий территориальной охраны природы, конструктивного подхода и экологической реабилитации.

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

Список литературы

- [1] Рысин Л.П., Рысин С.Л. Лесное наследие Москвы. М.: Биоинформсервис, 1997. 116 с.
- [2] Машинский, Л.О. Принципы размещения экспозиций // Бюллетень Главного ботанического сада, 1948. Вып. 1. С. 44–49.
- [3] Демидов А.С., Шатко В.Г. Главный сад России // Природа, 2005. № 12. С. 7–18.
- [4] Вадковская О.А. Почвы территории Главного ботанического сада Академии наук СССР // Бюллетень Главного ботанического сада, 1949. Вып. 3. С. 29–32.
- [5] Евтюхова М.А. Флора и растительность территории Главного ботанического сада АН СССР // Труды Главного ботанического сада, 1949. Т. 1. С. 63–86.
- [6] Карписонова Р.А. Заповедная дубрава в Главном Ботаническом саду Академии наук СССР и ее особенности: автореф. дис.... канд. биол. наук. М.: Изд-во МГПИ им. В.И. Ленина, 1963. 18 с.
- [7] Рысин С.Л. О необходимости разработки научного подхода к реконструкции лесопарковых насаждений ГБС РАН // Актуальные проблемы лесного комплекса, 2021. № 60. С. 158–160.
- [8] Рысин С.Л., Новоселов В.В., Федяева А.М. Рекреационный потенциал лесопарковых насаждений на территории ГБС РАН (г. Москва) // Актуальные проблемы лесного комплекса, 2020. № 56. С. 186–190.
- [9] Мэгарран Э. Экологическое разнообразие и его измерение. М.: Мир, 1992. 181 с.
- [10] Клауснитцер Б. Экология городской фауны / пер. с нем. М.: Мир, 1980. 246 с.
- [11] Беднова О.В. Структурное разнообразие лесных экосистем как индикатор их нарушенности и основа для природоохранного планирования пространства городских ООПТ // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник, 2012. № 9. С. 16–29.
- [12] Беднова О.В. Технология нормирования и индикации состояния лесных экосистем в условиях городских особо охраняемых природных территорий // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник, 2014. № 6. Т. 18. С. 36–51.
- [13] Леса южного Подмосковья / под ред. Л.П. Рысина. М.: Наука, 1985. 280 с.
- [14] Ткаченко М.Е. Лесоводство. М.: Гослесбуиздат, 1955. 599 с.
- [15] Чесноков П.И. Дубовые леса Московской области и пути их восстановления // Опыт реконструкции малощенных лесов Московской области. М.; Л.: Гослесбуиздат, 1955. С. 20–38.
- [16] Лосицкий К.Б. Восстановление дубрав. М.: Сельхозиздат, 1963. 359 с.
- [17] Харченко Н.А. Лесоводственные свойства древесных пород дубрав Центрального Черноземья // Деграляция дубрав Центрального Черноземья. Воронеж: Изд-во ВГЛТА, 2010. С. 7–70.
- [18] Харченко Н.А., Харченко Н.Н. О естественном возобновлении дуба черешчатого под пологом материнского древостоя // Лесотехнический журнал, 2013. № 4. С. 42–53. DOI: 10.12737/2179
- [19] Опыт восстановления дуба в лесах Подмосковья. М.: Изд-во Министерства сельского хозяйства РСФСР, 1961. 36 с.
- [20] Рябцев И.С., Тиходеева М.Ю., Рябцева И.М., Подпологовое возобновление лесообразующих пород в широколиственных лесах разного возраста с господством дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) // Вестник Санкт-Петербургского университета. Сер. 3, 2009. Вып. 2. С. 12–21.
- [21] Мерзленко М.Д., Котуранов Д.Л. Насаждения дуба черешчатого в средней полосе России. М.: Издательский дом Рученькиных, 2008. 144 с.
- [22] Румянцев Д.Е., Сидорко Н.М. Сопряженность в динамике прироста дуба и лещины из Заповедной дубравы ГБС РАН // Материалы IV Междунар. конф. молодых ученых, посвященной акад. П.С. Погребняку «Леса Евразии — Восточные Карпаты», Москва, МГУЛ, 27 сентября–1 октября, 2004 г. М.: МГУЛ, 2004. С. 105–107.
- [23] Морозов Н.С. Птицы городских лесопарков как объект синэкологических исследований: наблюдаем ли мы обеднение видового состава и компенсацию плотностью // Виды и сообщества в экстремальных условиях. Москва – София: КМК, 2009. С. 429–486.
- [24] Рысин С.Л., Гревцова В.В. Проблемы сохранения Заповедной дубравы на территории ГБС РАН // Сб. материалов XX Междунар. науч.-практ. форума «Проблемы озеленения крупных городов», Москва, ВДНХ, 12–13 сентября, 2018 г. М.: Перо, 2018. С. 123–126.
- [25] Примак Р. Основы сохранения биоразнообразия. М.: УНЦ ДО МГУ, 2002. 256 с.
- [26] Urbanization, Biodiversity and Ecosystem Services: Challenges and Opportunities. Springer Dordrecht: Heidelberg-New-York-London, 2013, 754 p. DOI: 10.1007/978-94-007-7088-1_10
- [27] Постановление Правительства Москвы от 10.09.2002 N 743-ПП «Об утверждении Правил создания, содержания и охраны зеленых насаждений и природных сообществ города Москвы» (редакция, действующая с 1 марта 2023 года). 195 с. Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. URL: <https://docs.cntd.ru/document/3638729> (дата обращения 13.09.2023).

- [28] ОСТ 56-108-98. Лесоводство. Термины и определения. Утв. приказом Рослесхоза от 3 декабря 1998 г. № 203. М.: Рослесхоз, 1998. 58 с.
- [29] Рысин Л.П., Савельева Л.И., Полякова Г.А., Рысин С.Л., Беднова О.В., Маслов А.А. Мониторинг рекреационных лесов. М.: Изд-во ОНТИ РАН, 2003. 168 с.
- [30] Котуранов Л.Д. Опыт и перспективы искусственного восстановления дубрав в средней полосе России: дис. ... канд. с.-х. наук, 06.03.01. М.: МГУЛ, 2005. 120 с.
- [31] Потапенко А.М., Лазарева М.С., Сторожишина К.М. Восстановление широколиственных лесов, созданных в порядке реконструкции малоценных лесных насаждений, лесокультурным методом // Труды БГТУ. Сер. 1, 2020. № 1. С. 69–74.
- [32] Рысин С.Л. Проблемы восстановления лесных насаждений на особо охраняемых территориях Москвы // Актуальные проблемы лесного комплекса, 2022. Вып. 62. С. 211–216.
- [33] Тихонова В.Л. Реинтродукция охраняемых видов растений: проблемы термины, методические подходы // Вопросы охраны редких видов растений и фитоценозов. М.: Изд-во ВНИИприроды, 1987. С. 45–53.
- [34] Восстановление и мониторинг природной флоры. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2010. 116 с.
- [35] Беднова О.В. Реинтродукция, репатриация, реставрация... и урбанизация // Природа, 2014. № 10. С. 27–35.

Сведения об авторах

Беднова Ольга Викторовна[✉] — канд. биол. наук, доцент кафедры «Лесоводство, экология и защита леса» ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (Мытищинский филиал), bednova@mgul.ac.ru

Рысин Сергей Львович — канд. биол. наук, вед. науч. сотр. ФГБУН «Главный ботанический сад имени Н.В. Цицина Российской академии наук», зав. лабораторией дендрологии, ser-rysin@yandex.ru

Поступила в редакцию 18.09.2023.

Одобрено после рецензирования 28.11.2023.

Принята к публикации 15.12.2023.

FOREST STANDS IN N.V. TSITSIN MAIN BOTANICAL GARDEN OF RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES: CONSERVATION, RECONSTRUCTION, REHABILITATION?...

O.V. Bednova^{1✉}, S.L. Rysin²

¹BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

²The N.V. Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences, 4, Botanicheskaya st., 127276, Moscow, Russia

bednova@mgul.ac.ru

The issue of preserving the sustainability of natural forest plantations on the territory of the N.V. Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences is considered. The results of a special forest-ecological survey are presented, which allow us to conclude that, in general, GBS forest plantations are distinguished by a rather high level of preservation of the natural forest environment for urbanized conditions. Both in the protected and in the buffer part of the forest area, the same type of succession processes take place, they include the death and loss of old-growth oak trees, the lack of reliable renewal of the pedunculate oak, the local formation of a tree layer from native hardwoods such as linden, maple, birch, the expansion of hazel in the undergrowth on most of the area. In the current situation, the prospects for the existence of a sustainable plantation with the participation of oak become insignificant. Therefore, the article discusses possible options for shaping the future forest area which include the implementation of polycentric conservation zoning, reconstruction of plantations and reintroduction of oak trees (*Quercus robur* L.).

Keywords: botanical garden, forest biogeocenoses, *Quercus robur* L., undergrowth, reconstruction of plantations, ecological rehabilitation

Suggested citation: Bednova O.V., Rysin S.L. *Lesnye nasazhdeniya na territorii Glavnogo botanicheskogo sada imeni N.V. Tsitsina Rossiyskoy akademii nauk: okhrana, rekonstruktsiya, rehabilitatsiya?...* [Forest stands in N.V. Tsitsin Main Botanical Garden of Russian Academy of Sciences: conservation, reconstruction, rehabilitation?...] *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2024, vol. 28, no. 1, pp. 14–27. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-1-14-27

References

- [1] Rysin L.P., Rysin S.L. *Lesnoye nasledie Moskvy* [Forest heritage of Moscow]. Moscow: Bioinformservis, 1997, 116 p.
- [2] Mashinskiy L.O. *Printsipy razmeshcheniya ekspozitsiy* [Principles of placement of exhibitions]. *Byulleten' GBS* [GBS Bulletin], 1948, no. 1, pp. 44–49.
- [3] Demidov A.S., Shatko V.G. *Glavnyy sad Rossii* [Main garden of Russia]. *Priroda* [Nature], 2005, no. 12, pp. 7–18.
- [4] Vadkovskaya O.A. *Pochvy glavnoy territorii botanicheskogo sada Akademii nauk SSSR* [Soils of the territory of the Main Botanical Garden of the USSR Academy of Sciences]. *Byull. Gl. Botan. Sada* [GBS Bulletin], 1949, no. 3, pp. 29–32.

- [5] Yevtyukhova M.A. *Flora i rastitel'nost' territorii Glavnogo botanicheskogo sada AN SSSR* [Flora and vegetation of the territory of the Main Botanical Garden of the USSR Academy of Sciences]. Trudy Glavnogo botanicheskogo sada [Proceedings of the Main Botanical Garden], 1949, t. 1, pp. 63–86.
- [6] Karpisonova R.A. *Zapovednaya dubrava v Glavnom botanicheskom sadovodstve akademii nauk SSSR i yeye osobennosti* [Reserved oak grove in the Main Botanical Garden of the USSR Academy of Sciences and its features]. Abstract. Dis. Cand. Sci. (Biol.). Moscow, 1963, 18 p.
- [7] Rysin S.L. *O neobkhodimosti razrabotki nauchnogo soveta po rekonstruktsii lesoparkovykh nasazhdeniy GBS RAN* [On the need to develop a scientific approach to the reconstruction of forest parks of the State Forest Service of the Russian Academy of Sciences]. Aktual'nyye problemy lesnogo kompleksa [Current problems of the forestry complex], 2021, no. 60, pp. 158–160.
- [8] Rysin S.L., Novoselov V.V., Fedyayeva A.M. *Rekreatsionnyy potentsial lesoparkovykh naseleniy na territorii GBS RAN* [Recreational potential of forest parks on the territory of the Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences]. Aktual'nyye problemy lesnogo kompleksa [Current problems of the forestry complex], 2020, no. 56, pp. 186–190.
- [9] Magurran A. Ecological diversity and its measurement. Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 1988, 178 p.
- [10] Klausnitzer B. Ecology of urban fauna. Jena, VEB Gustav Fisher, 1987.
- [11] Bednova O.V. *Strukturnoye raznoobrazie lesnykh ekosistem kak indikator ikh narushennosti i osnova dlya prirodookhrannogo planirovaniya prostranstv traditsionnogo OOPT* [Structural diversity of forest ecosystems as an indicator of their disturbance and the basis for environmental planning of urban protected areas]. Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik, 2012, no № 9, pp. 16–29.
- [12] Bednova O.V. *Tekhnologiya normirovaniya i indikatsii sostoyaniya lesnykh ekosistem v usloviyakh osobo okhranyayemykh zon territorii* [Technology of standardization and indication of the state of forest ecosystems in urban specially protected natural areas]. Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik, 2014, no. 6, pp. 36–51.
- [13] *Lesa yuzhnogo Podmoskov'ya* [Forests of the southern Moscow region]. Moscow: Nauka, 1985, 280 p.
- [14] Tkachenko M.Ye. *Lesovodstvo* [Forestry]. Moscow: Goslesbumizdat, 1955, 599 p.
- [15] Chesnokov P.I. *Dubovyye lesa Moskovskoy oblasti i puti ikh vosstanovleniya* [Oak forests of the Moscow region and ways of their restoration]. Opyt rekonstruktsii malotsennykh lesov Moskovskoy oblasti [Experience in the reconstruction of low-value forests of the Moscow region]. Moscow, Goslesbumizdat, 1955, pp. 20–38.
- [16] Lositskiy K.B. *Vosstanovleniye dubrav* [Restoration of oak forests]. Moscow: Sel'khozizdat, 1963, 359 p.
- [17] Kharchenko N.A. *Lesovodstvennyye svoystva drevesnykh porod dubrav Tsentral'nogo Chernozem'ya* [Silvicultural properties of tree species of oak forests in the Central Black Earth Region]. Degradatsiya dubrav Tsentral'nogo Chernozem'ya [Degradation of oak forests in the Central Black Earth Region]. Voronezh: VGLTA, 2010, pp. 7–70.
- [18] Kharchenko N.A., Kharchenko N.N. On the natural regeneration of pedunculate oak under the canopy of the mother forest. Forestry Journal, 2013, no. 4, pp. 42–53. DOI: 10.12737/2179
- [19] *Opyt vosstanovleniya duba v lesakh Podmoskov'ya* [Experience of oak restoration in the forests of the Moscow region]. Moscow: Izd-vo Ministerstva sel'skogo khozyaystva RSFSR, 1961, 36 p.
- [20] Ryabtsev I.S., Tikhodeyeva M.Yu., Ryabtseva I.M. *Podpologovoye vyrashchivaniye lesoobrazuyushchikh porod v shirokolistvennykh lesakh raznogo vozrasta s gospodstvom duba chereschatogo (Quercus robur L.)* [Subcanopy regeneration of forest-forming species in broad-leaved forests of different ages with the dominance of English oak (*Quercus robur L.*)]. Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Ser. 3 [Bulletin of St. Petersburg University], 2009, no. 2, pp. 12–21.
- [21] Merzlenko M.D., Koturanov D.L. *Nasazhdeniya duba chereschatogo v sredney polose Rossii* [Plantations of pedunculate oak in central Russia]. Moscow: Izdatel'skiy dom Ruchen'kinykh, 2008, 144 p.
- [22] Rumyantsev D.Ye., Sidorko N.M. *Sopryazhennost' v dinamike prirosta duba i leshchiny iz zapovednoy dubravy GBS RAN* [Conjugation in the dynamics of growth of oak and hazel from the reserved oak grove of the GBS RAS]. Materialy IV Mezhdunarodnoy konferentsii molodykh uchenykh, posvyashchennoy akademike P.S. Pogrebnyaku «Lesa Yevrazii – Vostochnyye Karpaty» [Materials of the IV International Conference of Young Scientists, dedicated to Academician P.S. Pogrebnyak «Forests of Eurasia – Eastern Carpathians»]. Moscow: MGUL, 2004, pp. 105–107.
- [23] Morozov N.S. *Ptitsy traditsionnykh lesoparkov kak ob'yekt sinekologicheskikh issledovaniy: nablyudayem za obedneniyem vidovogo sostava i potolochnym osveshcheniyem* [Birds of urban forest parks as an object of synecological research: are we observing depletion of species composition and compensation by density]. Vidy i soobshchestva v ekstremal'nykh usloviyakh [Species and communities in extreme conditions]. Moscow-Sofia: KMK, 2009, pp. 429–486.
- [24] Rysin S.L., Grevtsova V.V. *Problemy sokhraneniya Zapovednoy dubravy na territorii GBS RAN* [Problems of preserving the Reserved oak grove on the territory of the State Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences] Sbornik materialov XX Mezhdunarodnogo nauchno-prakticheskogo foruma «Problemy ozeleneniya krupnykh gorodov» [Collection of materials of the XX International Scientific and Practical Forum «Problems of Greening Large Cities»]. Moscow, 2018, VDNKh, pp. 123–126.
- [25] Primack R.A. Primer of Conservation Biology. Massachusetts: Sinauer Associates Inc., 2000, 280 p.
- [26] Urbanization, Biodiversity and Ecosystem Services: Challenges and Opportunities. Springer Dordrecht: Heidelberg-New-York-London, 2013, 754 p. DOI: 10.1007/978-94-007-7088-1_10
- [27] *Pravila sodержaniya i okhrany zelenykh nasazhdeniy i rassmotreniya soobshchestva goroda Moskvy»* [The Rules for the creation, maintenance and protection of green spaces and natural communities of the city of Moscow]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/3638729> (accessed 13.09.2023).
- [28] OST 56-108-98. *Lesovodstvo. Terminy i opredeleniye* [Industry Standart 56-108-98. 25. OST 56-108-98. Forestry. Terms and Definitions]. Moscow: Rosleskhoz, 1999, 58 p.
- [29] Rysin L.P., Savel'yeva L.I., Polyakova G.A., Rysin S.L., Bednova O.V., Maslov A.A. *Monitoring rekreatsionnykh lesov* [Monitoring of recreational forests]. Moscow: ONTI RAN, 2003, 168 p.
- [30] Koturanov L.D. *Opyt i perspektivy iskusstvennogo vosstanovleniya dubrava v sredney polose Rossii* [Experience and prospects for artificial restoration of oak forests in central Russia]. Diss. Cand. Sci. (Agric.). Moscow, 2005, 120 p.

- [31] Potapenko A.M., Lazareva M.S., Storozhishina K.M. *Vosstanovleniye shirokolistvennykh lesov, sozdannykh v poryadke rekonstruktsii malotsennykh lesnykh nasazhdeniy, lesokul'turnym metodom* [Restoration of broad-leaved forests created in the process of reconstruction of low-value forest plantations, using the silvicultural method]. Trudy BGTU, Ser. 1 [Proceedings of BSTU. Series 1], 2020, no. 1, pp. 69–74.
- [32] Rysin S.L. *Problemy vosstanovleniya lesnykh nasazhdeniy na osobo okhranyayemykh territoriyakh Moskvy* [Problems of forest plantations restoration in specially protected areas of Moscow]. Aktual'nyye problemy lesnogo kompleksa [Current problems of the forestry complex], 2022, no. 62, pp. 211–216.
- [33] Tikhonova V.L. *Reintroduktsiya okhranyayemykh vidov rasteniy: problemy terminov, metodicheskiye podkhody* [Reintroduction of protected plant species: problems, terms, methodological approaches]. Voprosy nablyudeniya za traditsionnymi vidami rasteniy i fitotsenozov [Issues of protection of rare plant species and phytocenoses]. Moscow: VNIIPrirody, 1987, pp. 45–53.
- [34] *Vosstanovleniye i monitoring prirodnoy flory* [Restoration and monitoring of natural flor]. Moscow: Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2010, 116 p.
- [35] Bednova O.V. *Reintroduktsiya, repatriatsiya, restavratsiya... i urbanizatsiya* [Reintroduction, repatriation, restoration... and urbanization]. Priroda [Nature], 2014, no. 10, pp. 27–35.

The work was carried out within the framework of the theme of the state assignment of GBS RAS No. 122042700002-6.

Authors' information

Bednova Ol'ga Viktorovna [✉] — Cand. Sci (Biologi), Associate Professor, the Department of Forestry, ecology and forest protection of BMSTU (Mytishchi branch), bednova@mgul.ac.ru

Rysin Sergey L'vovich — Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher of the Laboratory of Dendrology of the Main Botanical Garden named after N.V. Tsitsin of the Russian Academy of Sciences, ser-rysin@yandex.ru

Received 18.09.2023.

Approved after review 28.11.2023.

Accepted for publication 15.12.2023.

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

ИЗУЧЕНИЕ СОСТОЯНИЯ И РОСТА ЛЕСНЫХ КУЛЬТУР В ЗЕЛЕННОЙ ЗОНЕ Г. АСТАНЫ

С.А. Кабанова¹✉, Е.П. Вибе¹, М.Н. Кабанов²,
М.А. Данченко², В.А. Борцов¹, П.Ф. Шахматов¹

¹ТОО «Казахский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации имени А.Н. Букейхана» (КазНИИЛХА им. А.Н. Букейхана), Республика Казахстан, 021704, г. Щучинск, ул. Кирова, д. 58

²Биологический институт Томского государственного университета, Россия, 634050, г. Томск, ул. Ленина, д. 36

kabanova.05@mail.ru

Приведены результаты исследований по определению жизненного состояния лесных культур 2015–2018 гг. посадки в зеленой зоне г. Астаны, произрастающих на ограниченно и условно лесопригодных почвах. Выявлено, что наблюдалась значительная разница по сохранности между ослабленными и здоровыми насаждениями. Сохранность всех изученных древесных пород в ослабленных насаждениях не превышала 68,4 %, наименьшая сохранность была 9,7 % у сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) и 15,0 % — у тополя пирамидального (*Populus nigra*). Нижний предел данного показателя в здоровых насаждениях составил 15,4 % (сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*), верхний — 83,6 % (вяз обыкновенный (*Ulmus laevis*)). Определено, что при сохранности в пределах 55 % после фазы приживания культур, насаждения вяза обыкновенного (*Ulmus laevis*) и клена ясенелистного (*Acer negundo*) вполне жизнеспособны и могут быть переведены в лесопокрываемые угодья. Для выращивания здоровых насаждений березы повислой необходима сохранность не менее 53 %. Установлено, что в зеленой зоне значительно ослабляют состояние древесных и кустарниковых растений следующие насекомые-вредители: звездчатый пилильщик-ткач (*Acantholyda posticalis*), северный березовый пилильщик (*Croesus septentrionalis*), большой березовый минирующий пилильщик (*Scolioneuria betuleti*), пяденица-обдирало (*Erannis defoliaria*), пяденица-шелкопряд бурополосая (*Lycia hirtaria*), вязовый долгоносик (*Orchestes steppensis*), большая лоховая листоблошка (*Trioza magnisetosa*).

Ключевые слова: зеленая зона, жизненное состояние, сохранность, лесопатологический мониторинг

Ссылка для цитирования: Кабанова С.А., Вибе Е.П., Кабанов М.Н., Данченко М.А., Борцов В.А., Шахматов П.Ф. Изучение состояния и роста лесных культур в зеленой зоне г. Астаны // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2024. Т. 28. № 1. С. 28–38. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-1-28-38

Важность зеленых зон вокруг городов и других населенных пунктов заключается в выполнении ими санитарно-гигиенических, ветро-, пыле- и газозащитных, а также рекреационных и других функций, в создании благоприятного микроклимата в городе и его окрестностях, смягчении сложных природно-климатических условий, содействии очищению воздуха путем аккумуляции тяжелых металлов в органах древесных растений [1–7].

В связи с переносом столицы Казахстана из Алма-Аты в Астану, лесоразведению в санитарно-защитной зоне новой столицы стали уделять пристальное внимание. В 1997 г. были сделаны первые посадки из крупномерных саженцев с закрытой корневой системой на площади 22 га. С 1998 г. практически ежегодно посадку искусственных насаждений проводят на площади 2,5 тыс. га сеянцами с открытой корневой системой.

С 2006 по 2014 г. лесоразведение проводилось ежегодно при площадях посадок 5,0 тыс. га. Лесокультурные работы проводятся в основном, Республиканским государственным предприятием (РГП) «Жасыл Аймак» и за 22 года его существо-

вания посадки лесных культур выполнены на площади около 79 тыс. га.

Пригородные искусственные насаждения созданы преимущественно из клена ясенелистного (*Acer negundo*) (15,5 %), вяза перистоветвистого и обыкновенного (*Ulmus pumila* и *Ulmus laevis*) (15,5 %), лоха узколистного (*Elaeagnus angustifolia*) (14,2 %) и смородины золотистой (*Ribes aureum*) (15,5 %). Остальные древесные и кустарниковые породы занимают до 40,8 % площади. Наиболее часто ассортимент составляет 14 древесных и кустарниковых пород.

С 1997 г. КазНИИЛХА им. А.Н. Букехана при создании, содержании и сохранении лесов зеленой зоны проводит научное сопровождение [8, 9]. Изучены рост и состояние интродуцированных хвойных пород, влияние загазованности и тяжелых металлов на рост березы повислой и ели сибирской, определена возможность пересадки 10-летних деревьев березы из кулисы в межкулисное пространство. В настоящее время проводятся исследования по выявлению площадей здоровых, ослабленных и погибающих искусственных насаждений в зеленом поясе г. Астаны с применением ГИС-технологий в целях дальнейшей разработки мер по их сохранению и реконструкции.

Проведение космического мониторинга жизненного состояния лесных культур показало, что общая площадь произрастания лесных культур составляет 81 692,2 га, из них здоровые насаждения занимают 41 % площади, ослабленные 37 % и погибающие 22 %. Неудовлетворительное состояние лесных культур вызвано следующими причинами:

- недостатком почвенной влаги;
- повреждением домашними животными;
- нарушением агротехники посадки (нестандартный посадочный материал, несоблюдение сроков и тщательности посадки);
- неправильно подобранный ассортимент древесных пород для определенного вида почв;
- погодные условия в год посадки и др.

Насаждения зеленой зоны отличаются от производственных лесных культур способом закладки, размещением и густотой. Вследствие сложных почвенно-климатических условий их закладывали по типу полезащитных лесных полос кулисами шириной 14...24 м с 4–6 рядами чистых или смешанных культур. Размещение деревьев в кулисе — 4,0×1,0 м. Ширина межкулисного пространства была такая же, что и кулиса. Такое размещение осложнило процесс перевода лесных культур в покрытые лесом угодья, поскольку в Правилах [10] критериями перевода служит первоначальная густота 6600 шт./га, в то время как согласно проекту лесных культур зеленой зоны их первоначальная густота не более 2500 шт./га. Кроме того, по причине сложных почвенно-климатических условий рост древесных растений замедляется, а сохранность уменьшается. В связи с этим перед учеными была поставлена задача определения оптимальной густоты культур, при которой насаждения будут устойчивыми и долговечными, а также определения качественных и количественных критериев для перевода лесных культур зеленой зоны в покрытые лесом угодья. Для выполнения этих задач необходимо определить состояние главных пород и их сохранность.

На жизненное состояние древесных и кустарниковых пород наряду с почвенно-климатическими условиями оказывает также влияние повреждаемость вредителями и болезнями. Мониторинг за распространенностью и площадями очагов вредителей проведен с помощью беспилотного летательного аппарата (БПЛА).

В мире существует практика экологического мониторинга [11] биоразнообразия с помощью БПЛА и дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) [12], определения площадей, занимаемых древесными породами [13], наблюдения за изменением состояния здоровых лесов [14, 15], выявления погибших деревьев [16], определения зараженности деревьев не только вредителями [17–19], но и болезнями [20, 21]. Видовой состав

и встречаемость вредителей в насаждениях зеленой зоны зависят от биологических особенностей отдельных видов, их устойчивости к отрицательному воздействию окружающей среды и условий, благоприятствующих или препятствующих размножению. Большое значение имеют ассортимент, возраст насаждений, их структура и в целом экологическая обстановка, складывающаяся в них, устойчивость самих растений к неблагоприятным факторам среды, а также интенсивность и качество проводимых мероприятий ухода за насаждениями и их защита [22].

Цель работы

Цель работы — определение жизненного состояния искусственных насаждений зеленой зоны г. Астаны и выявление критериев перевода их в покрытые лесом угодья.

Материалы и методы

Объектами исследований послужили лесные культуры 2015–2018 гг. посадки, произрастающие на ограниченно и условно лесопригодных почвах. Возраст изучаемых искусственных насаждений обусловлен необходимостью разработки до сих пор не определенных требований к переводу лесных культур зеленой зоны г. Астаны в лесопокрываемые угодья.

Регион исследований расположен в подзоне умеренно засушливой и засушливой степи. Климат региона резко континентальный, усложняющий рост и сохранность растений суровыми зимами, сильными ветрами, в летний период — суховеями. Почвенные условия также неблагоприятны для растений. Вследствие высокого содержания токсичных солей в почве ограничен ассортимент древесных и кустарниковых пород. Большую часть земель вокруг столицы Казахстана занимают условно лесопригодные и ограниченно лесопригодные почвы (соответственно 54 и 28 %), лесопригодных почв всего 18 % [23].

Первоначально исследования осуществлялись отдельно на разных категориях почв по лесопригодности, однако в связи с большой мозаичностью и фрагментарностью степени засоления в дальнейшем разделение на ограниченно и условно лесопригодные почвы не проводилось. Для исследований были выбраны лесничества Республиканского государственного предприятия (РГП) «Жасыл Аймак», расположенные по различным сторонам горизонта: лесничество «Батыс» — западное направление, Шортандинское лесничество — северо-западное, Кызылжарское лесничество — северное, Астанинское лесничество — южное, Вячеславское лесничество — юго-восточное. Таким образом, были охвачены все направления по созданию зеленой зоны вокруг г. Астаны.

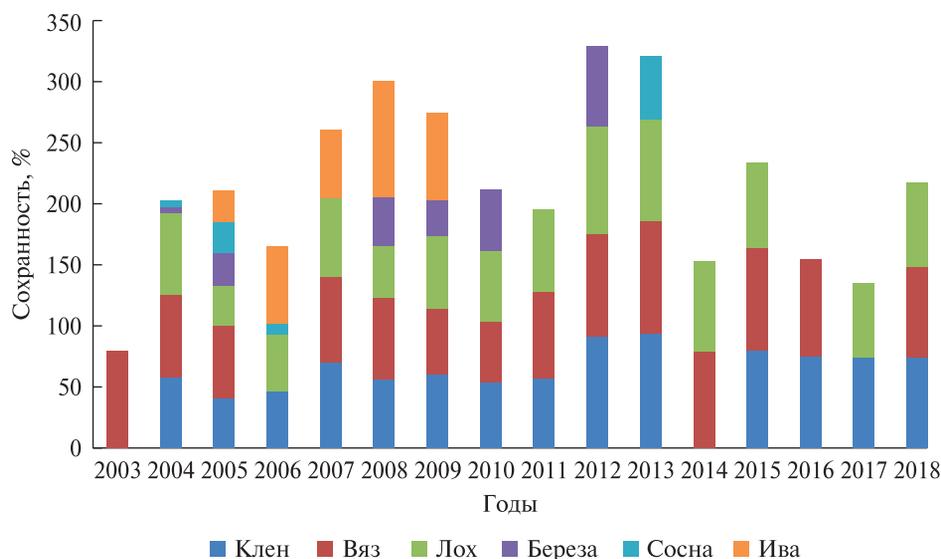


Рис. 1. Средняя сохранность древесных пород по годам посадки
 Fig. 1. Average preservation of tree species by planting years

До начала проведения исследований визуаль-но в одной кулисе были выбраны здоровые, ослабленные и погибающие насаждения. Затем в лесных культурах, в зависимости от жизненного состояния насаждений, закладывались прямоугольные пробные площади, на которых произрастало не менее 100 деревьев главной породы. Пробные площади по каждой категории жизненного состояния закладывались в трехкратной повторности для каждой древесной породы. На пробе у всех деревьев измерялся диаметр ствола мерной вилкой, высота — высотомером [24, 25].

Кроме того, описывалось состояние каждого дерева по состоянию — здоровое, ослабленное и погибающее. К здоровым относились деревья, не поврежденные вредителями и болезнями, не имеющие механических повреждений, не отстающие в росте, с густой кроной и не измененным цветом листьев и хвои. Ослабленные деревья могли иметь незначительные механические повреждения, зараженность вредителями и болезнями, отставать в росте, характеризоваться средним облиствлением и измененным цветом ассимиляционного аппарата. Погибающие деревья отличались суховершинностью, значительными повреждениями механического характера и были заселены вредителями или болезнями. Оценку жизненного состояния насаждений выполняли с помощью расчета по методике В.А. Алексеева [26]. Следует отметить, что визуальное отнесенное к той или иной категории состояния насаждение подтверждалось расчетами по указанной методике.

Сохранность культур определялась как отношение числа посадочных мест с сохранившимися растениями, выраженное в процентах, к фактически высаженому в соответствии с проектом

культур и уточненному при проведении технической приемки лесокультурных работ числу растений на выбранной площади.

Полученные данные обрабатывались методами математической статистики [27].

Видовой состав вредителей в лесных культурах определялся на основании мониторинговых наблюдений с 2015 по 2020 гг. РГП «Жасыл Аймак», которое непосредственно занимается выращиванием и сохранением лесных культур в зеленой зоне, и собственных исследований 2021–2022 гг.

Результаты и обсуждение

По материалам лесоустройства РГП «Жасыл Аймак» была определена средняя сохранность лесных культур всех возрастов. На рис. 1 видно, что сохранность растений различалась по годам посадки, наиболее высокий показатель отмечен в 2012 и 2013 гг.

Наименьшая сохранность более 90 % в эти годы зафиксирована у лоха узколистного (*Elaeagnus angustifolia*) (84,4 %), клена ясенелистного (*Acer negundo*) и вязов перистоветвистого (*Ulmus pumila*) и обыкновенного (*Ulmus laevis*) превышала 90 %. В остальные годы данный признак изменялся в среднем на 60...80 %. Средняя сохранность сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) и березы повислой (*Betula pendula* L.) составила соответственно 52,6 и 65,8 %, что для древесных пород слабо приспособленных к засолению почвы, является достаточно высоким показателем.

Анализ сохранности древесных пород показал, что в некоторые годы посадки сохранность лесных культур показала большие значения.

Вероятно, что на это повлияли погодные условия. В частности, в годы с наибольшей сохранностью растений среднегодовые показатели температуры воздуха, годовой и среднегодовой сумм осадков были достаточно высокими.

Отмечена также средняя сохранность (рис. 2) древесных пород независимо от года посадки в лесных культурах I очереди, которая создавалась кулисным способом (1997–2020). Из рис. 2 видна приспособленность деревьев к условиям местопроизрастания по мере снижения их устойчивости: вяз перистоветвистый и обыкновенный, клен ясенелистный, лох узколистный, ива белая, береза повислая и сосна обыкновенная. Следует отметить, что вязы перистоветвистый и обыкновенный произрастают в кулисах вместе и при учете их не разделяют по видам.

При создании культур II очереди в межкулисном пространстве ассортимент древесных и кустарниковых растений был расширен. В лесных культурах II очереди по мере снижения сохранности можно указать следующие древесные породы: тополь пирамидальный, ива белая, вязы, клен ясенелистный, яблоня сибирская, лох узколистный, сосна обыкновенная (рис. 3).

Культуры одного возраста, даже произрастая на почве одинаковой категории лесопригодности, значительно различаются (табл. 1). Ослабленные и здоровые культуры вяза 2017 г. посадки имели наибольшую высоту в Астанинском лесничестве (соответственно 1,4 и 1,9 м), наименьшую — в лесничестве «Батыс» (соответственно 1,1 и 1,8 м).

Аналогичны показатели и по клену ясенелистному. Средняя высота клена ясенелистного 2017 г. посадки, произрастающего во всех лесничествах, в ослабленных и здоровых культурах составила соответственно 1,5 и 2,1 м, в культурах 2018 г. посадки соответственно 1,1 и 1,5 м. Выявлено, что превышение по высоте между здоровыми и ослабленными насаждениями варьировало от 29,8 (культуры клена в лесничестве «Батыс») до 79,7 % (культуры вяза обыкновенного в Шортандинском лесничестве).

Проведенные исследования показали значительную разницу по высоте между ослабленными и здоровыми насаждениями. Возможно, на ослабление растений повлияла комплексность почв и их мозаичность, когда в одной кулисе при всех равных условиях произрастания одновозрастные деревья значительно различаются по росту и жизненному состоянию.

Количество здоровых деревьев в ослабленных насаждениях изменялось от 5,8 (культуры яблони 2018 г. посадки) до 21,2 % (культуры тополя 2016 г. посадки). Число здоровых деревьев в здоровых насаждениях составляло 61,2...88,9 %. Культуры вяза обыкновенного наиболее часто

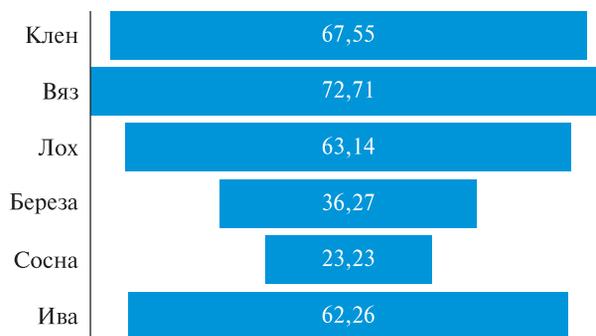


Рис. 2. Средняя сохранность лесных культур I очереди, %
Fig. 2. Average preservation of forest crops of the first stage, %

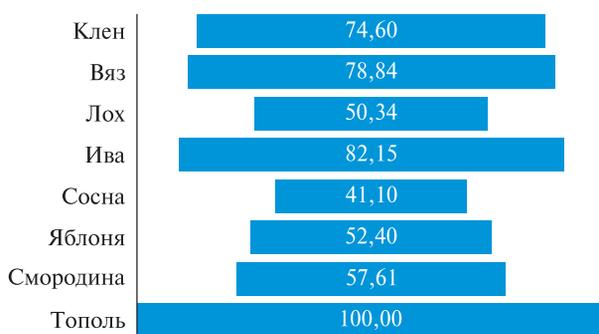


Рис. 3. Средняя сохранность древесных пород в лесных культурах II очереди
Fig. 3. Average preservation of tree species in forest crops of the II stage

отличались небольшим числом здоровых деревьев в ослабленном насаждении, угнетенным состоянием и слабым ростом. По сравнению с вязом клен ясенелистный отличался более быстрым ростом и лучшей приспособляемостью.

Если сравнивать высоту одновозрастных однопородных культур по лесничествам, то видно, что насаждения в Астанинском лесничестве лидируют среди культур 2017 г. посадки. Причем наблюдается значительная разница по высоте между ослабленными и здоровыми насаждениями. В культурах 2018 г. посадки лидирующее положение занимают насаждения, произрастающие в лесничестве «Батыс».

Сохранность всех изученных древесных пород в ослабленных насаждениях не превышала 68,4 %, наименьшая сохранность 9,7 % была у сосны обыкновенной и 15,0 % — у тополя пирамидального. Нижний предел данного показателя в здоровых насаждениях составил 15,4 % (сосна обыкновенная), верхний — 83,6 % (вяз обыкновенный). Следует отметить, что сосна обыкновенная 2017 г. посадки в Астанинском лесничестве имела наименьшую сохранность — 9,7...15,4 %.

Индекс равномерности размещения (Ир) во всех изученных культурах составляет 4, причем оптимальная величина должна быть не больше 1.

Основные количественные показатели лесных культур 2015–2018 гг. посадки

The main quantitative indicators of forest crops planting 2015–2018

Порода	Номер квартала	Год посадки	Сохранность, %		Средняя высота деревьев в насаждениях, м		Превышение по высоте между здоровыми и ослабленными насаждениями, %	Количество здоровых деревьев в насаждении, %	
			ослабленные	здоровые	ослабленные	здоровые		ослабленные	здоровые
Шортландинское лесничество									
Вяз обыкновенный	4	2016	27,8	22,8	1,5 ± 0,1	2,7 ± 0,2	79,7	15,1	85,2
Тополь пирамидальный	22	2016	15,0	70,0	3,4 ± 0,1	4,4 ± 0,1	23,8	21,2	70,0
Береза повислая	18	2016	23,2	42,0	3,3 ± 0,3	4,6 ± 0,2	40,0	13,9	85,4
Вяз обыкновенный	22	2017	45,7	46,9	1,2 ± 0,1	1,9 ± 0,3	59,6	12,5	75,4
Клен ясенелистный	56	2017	39,9	78,4	1,3 ± 0,2	1,7 ± 0,2	33,5	15,6	79,3
Вяз обыкновенный	137	2017	68,2	69,4	1,3 ± 0,4	1,8 ± 0,1	43,1	13,6	82,1
Клен ясенелистный	25	2017	68,4	79,1	1,3 ± 0,1	1,8 ± 0,3	35,5	14,2	79,3
Лох узколистный	23	2018	24,5	39,6	0,9 ± 0,5	1,4 ± 0,2	50,0	7,1	76,9
Яблоня сибирская	23	2018	28,8	41,3	0,8 ± 0,1	1,3 ± 0,1	54,1	5,8	83,7
Клен ясенелистный	23	2018	24,0	42,1	0,9 ± 0,2	1,4 ± 0,2	51,0	15,2	88,2
Астанинское лесничество									
Береза повислая	8	2017	14,3	65,9	1,8 ± 0,2	2,8 ± 0,1	50,8	15,7	74,8
Сосна обыкновенная	8	2017	9,7	15,4	1,9 ± 0,1	2,1 ± 0,2	13,6	14,3	84,2
Клен ясенелистный	100	2017	67,3	77,2	1,6 ± 0,2	2,7 ± 0,1	63,1	16,7	82,6
Тополь пирамидальный	105	2017	68,4	66,9	2,5 ± 0,1	3,5 ± 0,1	40,9	18,3	87,3
Вяз обыкновенный	103	2017	52,7	58,9	1,4 ± 0,3	1,9 ± 0,2	36,1	10,6	79,3
Лесничество «Батыс»									
Клен ясенелистный	128	2017	45,9	56,8	1,5 ± 0,1	2,1 ± 0,1	15,6	14,1	85,4
Вяз обыкновенный	138	2017	40,2	42,8	1,1 ± 0,2	1,8 ± 0,3	12,3	20,4	79,6
Клен ясенелистный	7	2018	52,4	45,3	1,4 ± 0,4	1,8 ± 0,4	14,8	10,9	88,6
Клен ясенелистный	21	2018	64,6	18,0	2,0 ± 0,4	2,4 ± 0,9	12,0	18,2	61,5
Вяз обыкновенный	21	2018	72,4	83,6	1,3 ± 0,4	1,8 ± 0,2	21,1	13,4	76,3
Вячеславское лесничество									
Клен ясенелистный	53	2015	41,9	51,1	3,4 ± 0,1	4,9 ± 0,2	42,7	11,4	67,1
Вяз обыкновенный	53	2015	48,7	49,9	2,4 ± 0,2	3,9 ± 0,1	61,9	10,3	61,2
Кызылжарское лесничество									
Клен ясенелистный	140	2018	57,3	58,2	0,8 ± 0,2	1,2 ± 0,1	40,4	15,3	87,2
Вяз обыкновенный	140	2018	49,6	46,8	1,0 ± 0,1	1,7 ± 0,2	71,5	11,8	79,4
Вяз обыкновенный	81	2015	61,9	49,9	2,6 ± 0,2	3,2 ± 0,1	24,1	1,1	77,9
Клен ясенелистный	81	2015	64,3	65,9	2,7 ± 0,2	3,1 ± 0,1	18,1	21,4	88,9

Однако в производственных условиях Ир размещения не должен превышать 6 [28]. Следовательно, Ир имеет допустимые значения.

Одним из критериев оценки оптимальной площади питания растений в несомкнувшихся лесных культурах является коэффициент использования площади питания (КИПП), который составляет 1. Вычисленный показатель указывает на оптимальные условия для интенсивного роста деревьев в лесных культурах до периода полного смыкания крон [29].

На основе имеющейся информации лесопатологического мониторинга за 2015–2020 гг.

проведен анализ очагов вредителей насаждений зеленой зоны (табл. 2).

В сосновых насаждениях действовали очаги звездчатого пилильщика-ткача, в березовых насаждениях ежегодно фиксировались площади повреждения северным березовым и березовым минирующим пилильщиками, в 2017 г. локально действовал очаг пяденицы березовой. Площади повреждений северным березовым пилильщиком варьируют от 1208,8 (2018 г.) до 4385,0 га (2016) [30].

В вязовых насаждениях к опасным видам, дающим сильные вспышки массового размножения и способным привести к их сильному ослаблению,

Т а б л и ц а 2

Площади очагов насекомых-фитофагов, зафиксированные в период 2015–2020 гг. (по данным РГП «Жасыл Аймак»)

Areas of foci of phytophagous insects recorded in the period 2015–2020 (according to the Republican State Enterprise «Zhasyl Aimak»)

Вид вредителя	Площадь очагов, га					
	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Пяденица-шелкопряд бурополосая	–	2072,0	2024,9	2191,4	2647,7	1052,2
Северный березовый пилильщик	2112,2	4385,0	3784,6	1208,8	2521,2	2393,6
Пяденица березовая	–	–	508,8	–	–	–
Жимолостный пилильщик	–	64,6	126,3	278,0	168,5	168,5
Березовый минирующий пилильщик	640,1	–	529,9	1632,4	464,7	490,8
Шпанская мушка	–	107,5	9,1	–	254,4	80,6
Боярышница	–	161,0	50,9	20,0	–	–
Вязовый пилильщик	1340,1	–	–	–	–	–
Ильмовый листоед	–	–	–	215,1	–	–
Лоховая цикадка	–	–	–	–	332,1	1507,7
Вязовый долгоносик	–	–	–	–	415,7	119,0
Звездчатый пилильщик-ткач	–	135,4	193,1	38,8	66,9	–
Итого:	3665,5	5753,9	6394	5361,7	6217,2	6278,6

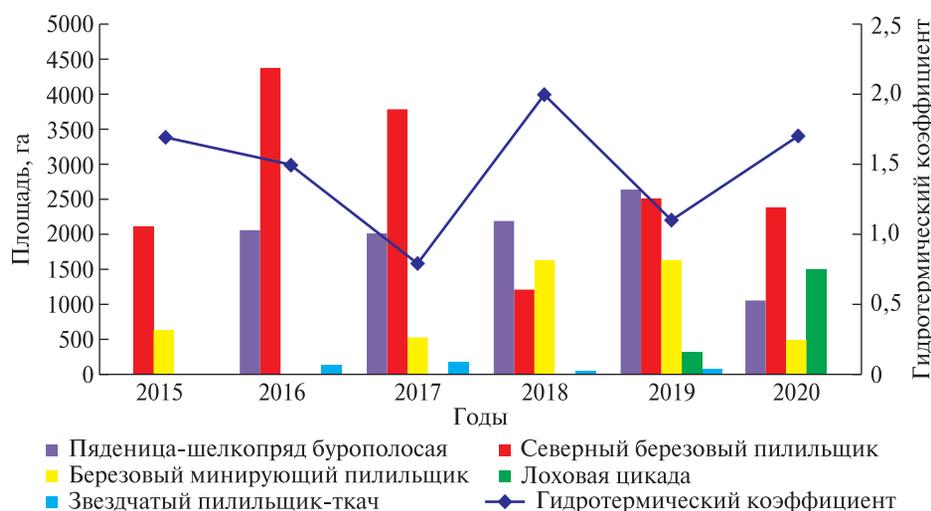


Рис. 4. Динамика площадей очагов доминирующих видов вредителей и значений гидротермического коэффициента

Fig. 4. Dynamics of the areas of foci of dominant pest species and the values of the hydrothermal coefficient

относится пяденица-шелкопряд бурополосая. Площади очагов ежегодно достигали около 2000 га, сократившись лишь в 2020 г. до 1052,2 га. При лесопатологических обследованиях 2021 г. в очагах пяденицы-шелкопряда бурополосой был выявлен еще один вид, ранее не указанный в формах статистической отчетности — пяденица-обдирало [31]. По численности в очаге доминировали гусеницы пяденицы-обдирало и их доленое участие составило 63 %, при этом численность пяденицы-шелкопряда бурополосой составила 35 %.

В 2015 г. действовал очаг вязового красногрудого пилильщика, в 2018 г. — ильмового листопада. Очаги повреждения вязовым долгоносиком официально указаны только с 2019 г., однако, по нашим наблюдениям, данный вид является массовым, нанося повреждения ежегодно с 2005 г. и приводя к ослаблению растений и потере их эстетической ценности [32].

В лоховых насаждениях вспышки массового размножения образует лоховая цикадка. Очаги вредителя в 2020 г. достигли площади 1507,7 га. В 2021 г. при уточнении видов нами получены данные, что массовые повреждения лоху узколистному, кроме лоховой цикадки, наносит большая лоховая листоблошка.

Очаги жимолостного пилильщика, шпанской мушки и боярышницы действуют локально и повреждают жимолость татарскую, ясень обыкновенный, яблоню сибирскую [33].

Динамика численности насекомых зависит от ряда факторов, один из основных — это метеорологические показатели [34, 35]. В связи с этим, при дальнейшем анализе был использован гидротермический коэффициент, который учитывает не только выпавшие осадки, но и температурный режим вегетационного периода (рис. 4).

Сильная корреляционная связь площади распространения вредителя с гидротермическим коэффициентом прослеживается у лоховой листоблошки и звездчатого пилильщика-ткача (коэффициент корреляции соответственно 1,0 и –0,8). По отношению к другим вредителям наблюдалась слабая зависимость, что можно объяснить ежегодно проводимыми химическими обработками.

Выводы

По проекту посадки лесных культур кулисного типа число деревьев на 1 га составляло 2,5 тыс. шт. При средней сохранности изученных культур вяза 51,8 % в возрасте от 3 до 6 лет в ослабленных насаждениях, в здоровых — 55,3 % число сохранившихся растений составляет соответственно 1298,3 и 1335,3 шт./га. Ослабленные культуры клена остролистного имеют среднюю сохранность в фазе роста 51,9 %, здоровые культуры — 53,4 %. Число сохранившихся растений

составило соответственно 1295,3 и 1383,1 шт./га. Как видно, разница в сохранности этих двух древесных пород небольшая и можно сделать вывод о том, что при сохранности плюс–минус 55 % после фазы приживания культур кулисные насаждения вполне жизнеспособны и могут быть переведены в лесопокрытые угодья. Сохранность березы повислой в ослабленных насаждениях в среднем составила 18,8 % и в здоровых — 53,9 %. Следовательно, для выращивания здоровых насаждений необходима сохранность не менее 53 %.

Выявленные насекомые повреждают насаждения в разное время, образуя либо чистые очаги, либо комплексные, включающие в себя несколько вредителей, в результате чего постоянно сохраняется угроза повреждения насаждений. Для снижения риска ослабления насаждений рекомендуется вести надзор за расселением вредных насекомых, определить для них зоны лесопатологической угрозы и разработать схемы лесозащитных мероприятий.

Список литературы

- [1] Kühn M. Greenbelt and Green Heart: separating and integrating landscapes in European city regions // *Landscape and urban planning*, 2003, no. 64, pp. 19–27.
- [2] Donis J. Designating a greenbelt around the city of Riga, Latvia // *Urban & Fischer Verlag. Urban Green*, 2003, no. 2, pp. 31–39.
- [3] Govindaraju M., Ganeshkumar R. S., Muthukumar V. R., Visvanathan P. Identification and evaluation of air-pollution-tolerant plants around lignite-based thermal power station for greenbelt development // *Environ sci pollut res*, 2003, no. 19, pp. 1210–1223.
- [4] Xu J., Jing B., Zhang K., Cui Y., Malkinson D., Kopel D., Song K., Da L. Heavy metal contamination of soil and tree-ring in urban forest around highway in Shanghai, China // *Human and ecological risk assessment: an international journal*, 2017. DOI:10.1080/10807039.2017.1340826
- [5] Patel K., Sharma R., Dahariya N., Yadav A., Blazhev B., Matini L., Hoinkis J. Heavy metal contamination of tree leaves // *American J. of analytical chemistry*, 2015, no. 6, pp. 687–693.
- [6] Capuana M. Heavy metals and woody plants – biotechnologies for phytoremediation // *Forest*, 2014, no. 4, pp. 7–15.
- [7] Розломий Н.Г., Богданов А.С. Оценка экологического состояния деревьев лиственных и хвойных пород в зеленых насаждениях г. Усурийска Приморского края // *Аграрный вестник Приморья*, 2022. № 2 (26). С. 86–90.
- [8] Кабанов А.Н., Кабанова С.А., Кочегаров И.С., Борцов В.А., Шахматов П.Ф., Данченко М.А. Состояние хвойных интродуцентов в зеленой зоне г. Нур-Султана // *Природообустройство*, 2022. № 2. С. 116–123.
- [9] Кочегаров И.С., Кабанов А.Н., Кабанова С.А., Невенчаная Н.М., Данченко М.А., Скотт С.А. Агроэкологическая оценка почв под лесными насаждениями защитной зоны города Астаны // *Природообустройство*, 2022. № 5. С. 132–138.
- [10] Правила перевода угодий, не покрытых лесом, в угодья, покрытые лесом, в государственном лесном фонде. Астана: ИПС «Әділет», 2010. № 561.
- [11] Покоева М.В., Ярославцев А.М. Экологические исследования смешанных насаждений методами дистанци-

- онного зондирования // Лесной вестник, 2020, т. 24, № 3. С. 33–38. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-3-33-38
- [12] Li X., Zheng Z., Xu C., Zhao P., Chen J., Wu J., Zhao X., Mu X., Zhao D., Zeng Y. Individual tree-based forest species diversity estimation by classification and clustering methods using UAV data // *Frontiers in ecology and evolution*, 2023, no. 11, pp. 11–13.
- [13] Ольхин Ю.В., Гаврилова О.И., Грязькин А.В., Кабонен А.В. Перевод лесных культур в покрытую лесом площадь с использованием беспилотных летательных аппаратов // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии*, 2022. Вып. 239. С. 89–103. DOI: 10.21266/2079-4304.2022.239.89-103
- [14] Laze K. Preliminary findings on remote sensing of forest cover change, forest and tree health in Southeastern Europe // *ISPRS – International archives of the photogrammetry remote sensing and spatial information sciences*. XLIII-B4, 2022, pp. 133–139.
- [15] Zagoranski F., Pernar R., Seletković A., Ančić M., Kolić J. Monitoring the health status of trees in maksimir forest park using remote sensing methods // *South-east European forestry*, 2018, no. 9(1), pp. 81–87.
- [16] Li Z., Yang R., Cai W., Xue Y., Hu Y., Li L. LLAM-MDC-Net for detecting remote sensing images of dead tree clusters // *Remote Sensing*, 2022, no. 14(15), p. 3684.
- [17] Bárta V., Hanus J., Dobrovolný L., Homolova L. Comparison of field survey and remote sensing techniques for detection of bark beetle-infested trees // *Forest Ecology and Management*, 2022, no. 506(1), p. 119984.
- [18] Цуварёва Н.А., Буй Динь Д., Мельничук И.А., Селиховкин А.В. Мониторинг состояния насаждений Санкт-Петербурга: современные и традиционные подходы // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии*, 2021. Вып. 235. С. 6–21. DOI: 10.21266/2079-4304.2021.235
- [19] Белицкая М.Н., Грибуст И.Р., Филимонова О.С., Блюм К.Я. Заселенность галлообразователями главных лесобразующих пород в насаждениях Волгоградской области // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии*, 2021. Вып. 236. С. 7–24. DOI: 10.21266/2079-4304
- [20] Garza B., Ancona V., Enciso J., Perotto-Baldivieso H., Kunta M., Simpson C. Quantifying citrus tree health using true color UAV Images // *Remote Sensing*, 2020, no. 12, p. 170.
- [21] Poblete-Echeverría C., Duncan S., McLeod A. Detection of the spectral signature of Phytophthora root rot (PRR) symptoms using hyperspectral imaging // *Acta Horticulturae*, 2023, no. 1, pp. 77–84.
- [22] Телегина О.С., Вибе Е.П., Нысанбаев Е.Н. Насекомые, повреждающие лесные культуры березы в зеленой зоне Астаны // *Защитное лесоразведение, мелиорация земель, проблемы агроэкологии и земледелия в Российской Федерации*. Волгоград: Изд-во Всероссийского научно-исследовательского агролесомелиоративного института, 2016. С. 601–606.
- [23] Суяндиков Ж.О. Технология создания и содержания лесонасаждений зеленой зоны г. Астаны // *Технология создания защитных насаждений в пригородной зоне г. Астаны: Материалы Междунар. науч.-практ. совещ.*, г. Астана, 8 июня 2012 г. Астана, 2012. С. 3–5.
- [24] Якимов Н.И., Гвоздев В.К., Волкович А.П. Лесные культуры. Минск: Изд-во БГТУ, 2012. 71 с.
- [25] Данченко А.М., Кабанова С.А., Данченко М.А., Муканов Б.М. Лесные культуры. М.: Юрайт, 2018. 235 с.
- [26] Алексеев В.А. Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение. Л.: Наука, 1990. 197 с.
- [27] Шорохова И.С., Кисляк Н.В., Мариев О.С. Статистические методы анализа. Екатеринбург: Изд-во Уральского федерального университета, 2015. 300 с.
- [28] Техногенное загрязнение лесов и изменение климата. Инвентаризация лесных культур. URL: http://forest-culture.narod.ru/Issled_gr/lk_up/8.html (дата обращения 12.01.2023).
- [29] Гвоздев В.К., Волкович А.П. Лесоводственное обоснование оптимальной густоты посадки лесных культур ели европейской // *Труды БГТУ*, 2021. № 2. С. 66–72.
- [30] Панкратова К.А., Вибе Е.П. Основные виды насекомых-фитофагов в насаждениях березы повислой зеленой зоны города Нур-Султан // *Гылым және білім*, 2022. № 3–2. С.185–193.
- [31] Вибе Е.П., Панкратова К.А., Куанышбаев Н.К. Капар Б.К. Доминирующие филлофаги насаждений *Ulmus pumila* зеленой зоны города Нур-Султан // *Вестник науки Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина*, 2022. № 1. С. 95–104.
- [32] Телегина О.С., Вибе Е.П. Вредные насекомые вяза в условиях зеленой зоны Астаны // *Агроэкология, мелиорация и защитное лесоразведение: материалы Международной научно-практической конференции*, Волгоград, 18–20 октября 2018 г. Волгоград: Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук, 2018. С. 333–336.
- [33] Вибе Е.П., Телегина О.С. Иллюстрированный атлас вредных насекомых зеленой зоны г. Астаны. Кокшетау: ТОО «Надежда 2050», 2023. 88 с.
- [34] Воронцов А.И., Мозолевская Е.Г., Соколова Э.С. Технология защиты леса. М.: Экология, 1991. 304 с.
- [35] Бутока С.В., Скрыпник Л.Н. Санитарное и лесопатологическое состояние хвойно-широколиственных (смешанных) лесов Калининградской области // *Лесной вестник / Forestry Bulletin*, 2023. Т. 27. № 2. С. 59–66. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-2-59-66

Сведения об авторах

Кабанова Светлана Анатольевна[✉] — канд. биол. наук, ассоциированный профессор, зав. отделом воспроизводства лесов и лесоразведения, ТОО «Казахский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации имени А.Н. Букейхана», kabanova.05@mail.ru

Вибе Екатерина Петровна — канд. с.-х. наук, зав. отделом лесоведения и охраны лесов, ТОО «Казахский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации имени А.Н. Букейхана», wiebe_k@mail.ru

Кабанов Матвей Николаевич — магистрант Биологического института Томского государственного университета, matvey_87@list.ru.

Данченко Матвей Анатольевич — канд. геогр. наук, доцент, Биологический институт Томского государственного университета, t-ekos@mail.ru

Шахматов Павел Федорович — мл. науч. сотр. отдела воспроизводства лесов и лесоразведения, ТОО «Казахский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации имени А.Н. Букейхана», sektor-aral@mail.ru

Борцов Валерий Анатольевич — мл. науч. сотр. отдела воспроизводства лесов и лесоразведения, ТОО «Казахский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации имени А.Н. Букейхана», bortsov_1969@mail.ru

Поступила в редакцию 28.04.2023.

Одобрено после рецензирования 11.10.2023.

Принята к публикации 28.11.2023.

STATE AND GROWTH OF FOREST SPECIES IN ASTANA GREEN BELT

S.A. Kabanova^{1✉}, **E.P. Vibe**¹, **M.N. Kabanov**²,
M.A. Danchenko², **V.A. Bortsov**¹, **P.F. Shakhmatov**¹

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

²Biological Institute of Tomsk State University, 36, Lenin st., 634050, Tomsk city, Russia

kabanova.05@mail.ru

The purpose of the research is to determine the vital state of forest crops of 2015–2018 planting growing in the green belt of Astana on limited and conditionally forest-suitable soils. Tax measurements were carried out on the test areas, the state of each tree was described by gradation — healthy, weakened and dying, then the state of the plantation was determined. It was revealed that there was a significant difference in preservation between weakened and healthy plantings. The safety of all the studied tree species in weakened plantings did not exceed 68,4 %, the lowest safety was 9,7 % in *Pinus sylvestris* and 15,0 % in *Populus nigra*. The lower limit of this indicator in healthy plantings was 15,4 % (*Pinus sylvestris*), the upper limit was 83,6 % (*Ulmus laevis*). It was determined that with preservation within 55 % after the phase of crop establishment, the plantings of *Ulmus laevis* and *Acer negundo* are quite viable and can be transferred to forested lands. For the cultivation of healthy stands of European birch, preservation of at least 53 % is necessary. In the green zone, the following pests significantly weaken the condition of woody and shrubby plants such as web-spinning sawfly, hazel sawfly, mottled umber moth, belted beauty, elm flea weevil, large flea leaf.

Keywords: green belt, vital condition, preservation, forest pathology monitoring

Suggested citation: Kabanova S.A., Vibe E.P., Kabanov M.N., Danchenko M.A., Bortsov V.A., Shakhmatov P.F. *Izuchenie sostoyaniya i rosta lesnykh kul'tur v zelenoy zone g. Astany* [State and growth of forest species in Astana green belt]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2024, vol. 28, no. 1, pp. 28–38.
DOI: 10.18698/2542-1468-2024-1-28-38

References

- [1] Kühn M. Greenbelt and Green Heart: separating and integrating landscapes in European city regions. *Landscape and urban planning*, 2003, no. 64, pp.19–27.
- [2] Donis J. Designating a greenbelt around the city of Riga, Latvia. *Urban & Fischer Verlag. Urban Green*, 2003, no. 2, pp. 31–39.
- [3] Govindaraju M., Ganeshkumar R. S., Muthukumaran V. R., Visvanathan P. Identification and evaluation of air-pollution-tolerant plants around lignite-based thermal power station for greenbelt development. *Environ sci pollut res*, 2003, no. 19, pp. 1210–1223.
- [4] Xu J., Jing B., Zhang K., Cui Y., Malkinson D., Kopel D., Song K., Da L. Heavy metal contamination of soil and tree-ring in urban forest around highway in Shanghai, China. *Human and ecological risk assessment: an international journal*, 2017. DOI:10.1080/10807039.2017.1340826

- [5] Patel K., Sharma R., Dahariya N., Yadav A., Blazhev B., Matini L., Hoinkis J. Heavy metal contamination of tree leaves. *American J. of analytical chemistry*, 2015, no. 6, pp. 687–693.
- [6] Capuana M. Heavy metals and woody plants – biotechnologies for phytoremediation. *Forest*, 2014, no. 4, pp. 7–15.
- [7] Rozlomiy N.G., Bogdanov A.S. *Otsenka ekologicheskogo sostoyaniya derev'ev listvennykh i khvoynnykh porod v zelenykh nasazhdeniyakh g. Ussuriyska Primorskogo kraya* [Assessment of the ecological state of deciduous and coniferous trees in green spaces in the city of Ussuriysk, Primorsky Krai]. *Agrarnyy vestnik Primor'ya* [Agrarian Bulletin of Primorye], 2022, no. 2 (26), pp. 86–90.
- [8] Kabanov A.N., Kabanova S.A., Kochegarov I.S., Bortsov V.A., Shakhmatov P.F., Danchenko M.A. *Sostoyanie khvoynnykh introdutsentov v zelenoy zone g. Nur-Sultana* [The state of coniferous introducents in the green zone of the city of Nursultan]. *Prirodoobustroystvo* [Nature management], 2022, no. 2, pp. 116–123.
- [9] Kochegarov I.S., Kabanov A.N., Kabanova S.A., Nevenchanaya N.M., Danchenko M.A., Skott S.A. *Agroekologicheskaya otsenka pochv pod lesnymi nasazhdeniyami zashchitnoy zony goroda Astany* [Agroecological assessment of soils under forest plantations of the protective zone of Astana city]. *Prirodoobustroystvo* [Nature Management], 2022, no. 5, pp. 132–138.
- [10] *Pravila perevoda ugodiy, ne pokrytykh lesom, v ugod'ya, pokrytye lesom, v gosudarstvennom lesnom fonde* [Rules for the transfer of land not covered with forest to land covered with forest in the state forest fund]. Astana: IPS «Әділет», 2010, no. 561.
- [11] Pokoeva M.V., Yaroslavtsev A.M. *Ekologicheskoe issledovanie smeshannykh nasazhdeniy metodami distantsionnogo zondirovaniya* [Environmental researches of mixed stans by remote sensing methods]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 3, pp. 33–38. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-3-33-38
- [12] Li X., Zheng Z., Xu C., Zhao P., Chen J., Wu J., Zhao X., Mu X., Zhao D., Zeng Y. Individual tree-based forest species diversity estimation by classification and clustering methods using UAV data. *Frontiers in ecology and evolution*, 2023, no. 11, pp. 11–13.
- [13] Ol'khin Yu.V., Gavrilova O.I., Gryaz'kin A.V., Kabonen A.V. *Perevod lesnykh kul'tur v pokrytuyu lesom ploshchad' s ispol'zovaniem bespilotnykh letatel'nykh apparatov* [Translation of forest crops into a forested area using unmanned aerial vehicles]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [News of the St. Petersburg Forestry Academy], 2022, v. 239, pp. 89–103. DOI: 10.21266/2079-4304.2022.239.89-103
- [14] Laze K. Preliminary findings on remote sensing of forest cover change, forest and tree health in Southeastern Europe. *ISPRS – International archives of the photogrammetry remote sensing and spatial information sciences*. XLIII-B4, 2022, pp. 133–139.
- [15] Zagoranski F., Pernar R., Seletković A., Ančić M., Kolić J. Monitoring the health status of trees in Maksimir forest park using remote sensing methods. *South-east European forestry*, 2018, no. 9(1), pp. 81–87.
- [16] Li Z., Yang R., Cai W., Xue Y., Hu Y., Li L. LLAM-MDCNet for detecting remote sensing images of dead tree clusters. *Remote Sensing*, 2022, no. 14(15), p. 3684.
- [17] Bárta V., Hanus J., Dobrovolný L., Homolova L. Comparison of field survey and remote sensing techniques for detection of bark beetle-infested trees. *Forest Ecology and Management*, 2022, no. 506(1), p. 119984.
- [18] Tsuvareva N.A., Buy Din' D., Mel'nichuk I.A., Selikhovkin A.V. *Monitoring sostoyaniya nasazhdeniy Sankt-Peterburga: sovremennye i traditsionnye podkhody* [Monitoring of the state of St. Petersburg plantings: modern and traditional approaches]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [News of the St. Petersburg Forestry Academy], 2021, v. 235, pp. 6–21. DOI: 10.21266/2079-4304.2021.235
- [19] Belitskaya M.N., Gribust I.R., Filimonova O.S., Blyum K.Ya. *Zaseleynost' galloobrazovatelyami glavnykh lesoobrazuyushchikh porod v nasazhdeniyakh Volgogradskoy oblasti* [The population of the main forest-forming species in the plantings of the Volgograd region by gallo-formers]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [News of the St. Petersburg Forestry Academy], 2021, v. 236, pp. 7–24. DOI: 10.21266/2079-4304
- [20] Garza B., Ancona V., Enciso J., Perotto-Baldivieso H., Kunta M., Simpson C. Quantifying citrus tree health using true color UAV Images. *Remote Sensing*, 2020, no. 12, p. 170.
- [21] Poblete-Echeverría C., Duncan S., McLeod A. Detection of the spectral signature of Phytophthora root rot (PRR) symptoms using hyperspectral imaging. *Acta Horticulturae*, 2023, no. 1, pp. 77–84.
- [22] Telegina O.S., Vibe E.P., Nysanbaev E.N. *Nasekomye, povrezhdayushchie lesnye kul'tury berezy v zelenoy zone Astany* [Insects damaging birch forest crops in the green zone of Astana]. *Zashchitnoe lesorazvedenie, melioratsiya zemel', problemy agroekologii i zemledeliya v Rossiyskoy Federatsii*. Volgograd: Vserossiyskiy nauchno-issledovatel'skiy agrolesomeliativnyy institut, 2016, pp. 601–606.
- [23] Suyundikov Zh.O. *Tekhnologiya sozdaniya i sodержaniya lesonasazhdeniy zelenoy zony g. Astany* [Technology of creation and maintenance of forest plantations of the green zone of the city of Nursultan]. *Tekhnologiya sozdaniya zashchitnykh nasazhdeniy v prigorodnoy zone g. Astany*. Astana, 2012, pp. 4–6.
- [24] Yakimov N.I., Gvozdev V.K., Volkovich A.P. *Lesnye kul'tury* [Forest cultures]. Minsk: BGTU, 2012, 71 p.
- [25] Danchenko A.M., Kabanova S.A., Danchenko M.A., Mukanov B.M. *Lesnye kul'tury* [Forest cultures]. Moscow: Yurayt, 2018, 235 p.
- [26] Alekseev V.A. *Lesnye ekosistemy i atmosfernoe zagryaznenie* [Forest ecosystems and atmospheric pollution]. Leningrad: Nauka, 1990, 197 p.
- [27] Shorokhova I.S., Kislyak N.V., Mariev O.S. *Statisticheskie metody analiza* [Statistical methods of analysis]. Ekaterinburg: Ural'skiy federal'nyy universitet, 2015, 300 p.
- [28] *Tekhnogennoe zagryaznenie lesov i izmenenie klimata. Inventarizatsiya lesnykh kul'tur* [Technogenic pollution of forests and climate change. Inventory of forest crops]. Available at: http://forest-culture.narod.ru/Issled_gr/lk_yp/8.html (accessed 12.01.2023).
- [29] Gvozdev V.K., Volkovich A.P. *Lesovodstvennoe obosnovanie optimal'noy gustoty posadki lesnykh kul'tur eli evropeyskoy* [Technogenic pollution of forests and climate change. Inventory of forest crops]. *Trudy BGTU*, 2021, no. 2, pp. 66–72.
- [30] Pankratova K.A., Vibe E.P. *Osnovnye vidy nasekomykh-fitofagov v nasazhdeniyakh berezy povisloy zelenoy zony goroda Nur-Sultana* [The main types of phytophagous insects in birch stands in the green zone of the city of Nur-Sultan]. *Fylym zhāne bilim* [Gylym zhane bilim], 2022, no. 3–2, pp. 185–193.

- [31] Vibe E.P., Pankratova K.A., Kuanyshbaev N.K., Kapar B.K. *Dominiruyushchie fillofagi nasazhdeniy Ulmus pumila zelenoy zony goroda Nur-Sultan* [Dominant phyllophages of *Ulmus pumila* plantings of the green zone of the city of Nursultan]. *Vestnik nauki Kazakhskogo agrotekhnicheskogo universiteta im. S. Seyfullina* [Bulletin of Science of S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University], 2022, no. 1, pp. 95–104.
- [32] Telegina O.S., Vibe E.P. *Vrednye nasekomye vyaza v usloviyakh zelenoy zony Astany* [Harmful insects of elm in the green zone of Astana]. *Agroekologiya, melioratsiya i zashchitnoe lesorazvedenie: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Agroecology, reclamation and protective afforestation: materials of the International Scientific and Practical Conference], Volgograd, October 18–20, 2018. Volgograd: Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, 2018 pp. 333–336.
- [33] Vibe E.P., Telegina O.S. *Ilyustrirovanny atlas vrednykh nasekomykh zelenoy zony g. Astany* [Illustrated atlas of harmful insects in the green zone of Astana]. Kokshetau: Nadezhda 2050, 2023, 88 p.
- [34] Vorontsov A.I., Mozolevskaya E.G., Sokolova E.S. *Tekhnologiya zashchity lesa* [Forest protection technology]. Moscow: Ekologiya, 1991, 304 p.
- [35] Butoka S.V., Skrypnyk L.N. *Sanitarnoe i lesopatologicheskoe sostoyanie khvoyno-shirokolistvennykh (smeshannykh) lesov Kaliningradskoy oblasti* [Sanitary and forest pathology state of coniferous-broad-leaved (mixed) stands in Kaliningrad region]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2023, vol. 27, no. 2, pp. 59–66. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-2-59-66

Authors' information

Kabanova Svetlana Anatol'evna  — Cand. Sci. (Biology), Head of the Department of Forest Reproduction and Afforestation, Kazakh Research Institute of Forestry and agroforestry named after A.N. Bukeikhan, kabanova.05@mail.ru

Vibe Ekaterina Petrovna — Cand. Sci. (Agriculture), Head of the Department of Forestry and Forest protection, Kazakh Research Institute of Forestry and agroforestry named after A.N. Bukeikhan, wiebe_k@mail.ru

Kabanov Matvey Nikolaevich — pg. of the Biological Institute of Tomsk State University, matvey_87@list.ru

Danchenko Matvey Anatol'evich — Cand. Sci. (Geography), Associate Professor, Biological Institute of Tomsk state University, t-ekos@mail.ru

Shakhmatov Pavel Fedorovich — Junior Researcher, Kazakh Research Institute of Forestry and agroforestry named after A.N. Bukeikhan, cektop-aral@mail.ru

Bortsov Valeriy Anatol'evich — Junior Researcher, Kazakh Research Institute of Forestry and agroforestry named after A.N. Bukeikhan, bortsov_1969@mail.ru

Received 28.04.2023.

Approved after review 11.10.2023.

Accepted for publication 28.11.2023.

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

ФЕНОЛОГИЯ ВИДОВ РОДА *SYRINGA* L. КАК ПОКАЗАТЕЛЬ АДАПТАЦИИ И НАТУРАЛИЗАЦИИ В СУБАРКТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

О.С. Залывская✉, Н.А. Бабич, О.П. Лебедева

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

o.zalvvskaaya@narfu.ru

Одним из важных показателей успешности интродукции видов является сохранение фенологических фаз в условиях изменения климата и сохранение их жизненной формы. Представлены материалы многолетних наблюдений (2009–2021 гг.) за сезонным развитием видов рода *Syringa* L. Исследования проведены в г. Архангельске (64°33' с. ш. 40°32' в. д.). Представлены результаты мониторинга 10 видов сирени дендрологического сада имени И.М. Стратоновича Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова: *S. vulgaris* L., *S. velutina* Kom., *Syringa komarowii* C.K. Schneider, *S. Henryi* C. Schn., *S. villosa* Vahl., *S. zweginzowii* Koehne., *S. Emodi* Wall., *S. Wolfi* C.K. Schneider., *S. josikaea* Jacq. f., *S. amurensis* Rupr. Проанализировано развитие следующих фаз: набухание почек, распускание почек, цветение, плодоношение (первые созревшие плоды, массовое созревание плодов, опадание плодов), осеннее расцветивание листьев, листопад (начало, массовое и окончание листопада). Выполнен анализ ежегодных изменений погодных условий. Установлено, что ритмы сезонного развития всех сохранившихся сиреней в коллекции дендросада соответствуют климатическим условиям региона произрастания. Различные сроки цветения позволяют использовать отдельные виды *Syringa* L. в качестве декоративных элементов ландшафтных композиций в озеленении населенных пунктов региона. Выявлено, что большинство видов исследуемого рода показали I балл зимостойкости, что свидетельствует об их адаптации в северных условиях.

Ключевые слова: интродукция, вегетационный период, фенологические исследования, цветение, плодоношение, зимостойкость, *Syringa* L.

Ссылка для цитирования: Залывская О.С., Бабич Н.А., Лебедева О.П. Фенология видов рода *Syringa* L. как показатель адаптации и натурализации в субарктических условиях // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2024. Т. 28. № 1. С. 39–45. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-1-39-45

Syringa L. — листопадное дерево или кустарник, относящийся к семейству Маслиновые (*Oleaceae* Lindl.), занимает одно из ведущих мест среди красивоцветущих декоративных кустарников, используемых в зеленом строительстве [1–3].

Большой вклад в исследование данной породы внесли как отечественные ученые — Л.А. Колесников, Н.К. Вехов, А.Ф. Мельник, З.С. Лунева, Е.В. Кучерова, так и зарубежные — А. Lingelsheim, Н. Marsell, Н.Г. Kronenberg. Биологические особенности развития сиреней рассматриваются в работах N. Pederson, A.D. Richardson, B. Yang и др. Исследователи S.D. McKelvey, Н.К. Вехов, З.С. Лунева выделяют следующие основные районы естественного произрастания видов *Syringa* L.: Западно-Гималайский, Балкано-Карпатский и Восточно-Азиатский [4–11].

Для современного ландшафтного строительства требуется постоянное обновление ассортимента растений, для чего отлично подходит сирень. Этот вид широко применяется в городском озеленении благодаря повышенной зимостойко-

сти, продолжительности цветения и неприхотливости в уходах [15].

Накоплен опыт выращивания некоторых образцов рода *Syringa* L. в различных районах Европейского Севера России, что побудило к активному изучению интродуцированных видов. Первые попытки селекции сиреней на Севере с учетом климатических условий начались в 1930-х годах. Основой для их выращивания послужил семенной способ размножения. Семена были получены из Китая (Пекинского ботанического сада), Польши (Варшавы) и разных городов СССР (Одессы, Новосибирска, Санкт-Петербурга, Москвы). Большая часть семян прижилась уже во время испытаний. Однако в последующие годы вследствие суровых зим некоторые образцы вымерзли. На основании полученных в то время результатов был обоснован видовой состав сиреней для дальнейших работ [12, 13].

Морфологически чередующийся цикл развития по различным стадиям, называется фенологической или сезонной фазой развития [14].

Особенности температурного режима в городских условиях обуславливают изменения в прохождении фенологических фаз, поэтому фено-

логическое развитие вида представляет интерес в целях его использования на различных объектах озеленения, в частности г. Архангельска. Сезонное развитие растений представляет собой последовательность наступления фенофаз, которые определяются изменениями климатических условий в течение года [16].

Процедура интродукции инорайонных видов сиреней осуществлена путем обмена семенным материалом с другими ботаническими садами (российскими и зарубежными) с помощью делектуса семян. В период 2009–2021 гг. установлено, что даты фенологических фаз таких интродуцированных видов сиреней, как *S. vulgaris* L., *S. Velutina* Kom., *Syringa komarowii* C. K. Schneider, *S. Henryi* C. Schn., *S. villosa* Vahl., *S. Zweginzowii* Koehne., *S. Emodi* Wall., *S. Wolfi* C. K. Schneider., *S. josikaea* Jacq., *S. amurensis* Rupr. различались по годам в зависимости от погодных и климатических условий — сильных кратковременных заморозков и резких перепадов температуры воздуха. Учтены все фенофазы, входящие в общепринятую систему исследований видов при введении их в новые регионы. Таким образом, вегетационный период интродуцированных видов сокращался из-за изменений природно-климатических условий Севера. Впоследствии продолжительность и сроки вегетации становятся стабильными, что свидетельствует об адаптации интродуцированных видов [17].

Одним из важных показателей успешности интродукции видов сирени является сохранение фенологических фаз рода в условиях постоянного изменения климата и сохранение их жизненной формы [3, 18].

Цель работы

Цель работы — фенологические исследования видов рода *Syringa* L. как показатель степени их акклиматизации в данных условиях произрастания.

Материалы и методы

Для решения исследовательской задачи — выявления сезонной динамики развития рода *Syringa* L. были проведены фенонаблюдения, в том числе зафиксированы даты наступления фаз развития изучаемых видов в Дендрологическом саду имени И.М. Стратоновича (далее — Дендрарий САФУ).

Фенологические наблюдения проводились по общепринятой методике [19, 20]. Фенологическая фаза считается наступившей, когда на растении распустилось не менее 10 % бутонов, развернулось не менее 10 % листьев и т. д. [21, 22].

В настоящей работе используются унифицированные программы фенологических наблюдений (календари природы, единообразия признаков

наступления фенофазы), методические рекомендации, атласы фенофаз, данные измерений гидрометеорологических приборов.

Зимостойкость определяли по 7-балльной шкале, разработанной Главным ботаническим садом имени Н.В. Цицина Российской академии наук (ГБС РАН) [23]:

I — растения не обмерзают;

II — обмерзает не более 50 % длины однолетних побегов;

III — обмерзает от 50 до 100 % длины однолетних побегов;

IV — обмерзают не только однолетние, но и более старые побеги;

V — обмерзает надземная часть до снегового покрова;

VI — обмерзает вся надземная часть;

VII — растение вымерзает целиком.

Оценку цветения и плодоношения проводили по 6-балльной шкале В.Г. Каппера [24]:

0 — цветки, завязи, шишки и плоды отсутствуют;

1 — цветки, завязи, шишки и плоды в небольшом количестве имеются на отдельных кустах и деревьях;

2 — цветки, завязи, шишки и плоды в небольшом количестве имеются у многих кустов и деревьев;

3 — цветки, завязи, шишки и плоды в достаточном количестве имеются у многих кустов и деревьев;

4 — цветки, завязи, шишки и плоды имеются у большей части кустов и деревьев;

5 — цветки, завязи, шишки и плоды в обильном количестве имеются у большей части кустов и деревьев.

Объекты исследования

В период исследований (2009–2021) проведены наблюдения за сезонным развитием 10 видов рода *Syringa* L. коллекции Дендрария САФУ: *S. vulgaris* L., *S. Velutina* Kom., *Syringa komarowii* C. K. Schneider, *S. Henryi* S. Schn., *S. Villosa* Vahl., *S. Zweginzowii* Koehne., *S. Emodi* Wall., *S. Wolfi* C. K. Schneid., *S. josikaea* Jacq. f., *S. amurensis* Rupr., выращенных из семян, доставленных из других ботанических садов в 1930-е годы, которые в настоящее время произрастают на коллекционном участке. Обработаны и проанализированы архивные материалы фенологических наблюдений с 1995 по 2021 гг.

Координаты Дендрария САФУ: 64°33' с. ш. и 40°32' в. д. Климат района — субарктический морской, среднегодовая температура воздуха составляет +0,8 °С: средняя температура января –12,5 °С, июля +15,6 °С, абсолютный минимум –49 °С, абсолютный максимум +34 °С. В конце

мая — начале июня наблюдается возвращение холодной погоды с заморозками и снегопадами. Переход среднесуточной температуры воздуха через +5 °С происходит 15 мая и 30 сентября. Вегетационный период длится в среднем 137 сут. Средняя продолжительность безморозного периода составляет 85 сут. Среднегодовое количество осадков — 675 мм. Сочетание резких перепадов температуры с высокой влажностью оказывает неблагоприятное влияние на выживание и рост растений. Почвы в дендросаду окультуренные, торфяно-перегнойные [17].

Результаты и обсуждение

Зимостойкость видов. Климат г. Архангельска характеризуется частой сменой воздушных масс, что обычно приводит к заморозкам в период вегетации, вызывающим повреждение побегов, которые тронулись в рост. Сирень характеризуется умеренной степенью вымерзания однолетних и более старых побегов, однако обладает высокой побегообразовательной способностью [25]. По результатам наблюдений за 2009–2020 гг. виды рода Сирень обладают показателем зимостойкости I (шкала ГБС РАН), что соответствует высокому уровню зимостойкости.

Начало вегетации. Набухание почек у видов *Syringa* L. начинается в среднем 20 апреля. Раньше всех в период вегетации вступает сирень обыкновенная (*S. vulgaris* L.). На рис. 1 представлены графики фенофазы набухания почек с выделением средних, максимальных и минимальных значений с 2009 по 2021 гг.

Цветение. Генетические особенности сиреней, обусловленные ареалом распространения и происхождением, устанавливают четкие границы сроков цветения. Сирени цветут в Дендрарии САФУ в среднем с 19 мая по 27 июня. Среди всех видов раннецветущими являются *S. josikaea* Jacq. f. — начало цветения в среднем 2 июня, позднецветущими — *S. Henryi* S. Sch. и *S. amurensis* Rupr. — начало цветения 27 июня.

Следует отметить, что начало цветения зависит не только от особенностей вида, но и от метеорологических условий района произрастания, причем в большей степени.

Сроки окончания фенофазы цветения у сирени также зависят от условий района произрастания. Самое продолжительное цветение зафиксировано у вида *S. villosa* Vahl. — в среднем со 2 по 18 июня.

На рис. 2 показаны графики окончания фенофазы цветения с выделением средних, максимальных и минимальных значений за период 2013–2021 гг.

Плодоношение. В результате наблюдений за видами *Syringa* L. выявлены различия в степени созревания плодов. Высокая интенсивность пло-

доношения отмечена в 2010 г. у видов *S. Wolffi* C. K. Schneider., *S. josikaea* Jacq. f., *Syringa komarowii* C. K. Schneider, в 2011 г. — у вида *S. vulgaris* L., в 2014 г. — у вида *S. villosa* Vahl. Оценка плодоношения указанных видов составляет, по шкале Каппера, 4–5, что характеризует хорошее и очень обильное плодоношение. Меньшая степень плодоношения отмечена в 2009 и 2013 г. у вида *S. Emodi* Wall.

Листопад. Наблюдения за процессом листопада у сирени указывает на адаптивный характер этого рода к зимним условиям. Начало фенофазы листопада у некоторых видов сирени в условиях Дендрария САФУ зафиксировано 13 сентября. Первыми начинают сбрасывать листву *S. josikaea* Jacq. f., *S. Wolffi* C. K. Schneider., *S. komarowii* C. K. Schneider, другие — в первой декаде октября. Дольше всего листва держится на побегах вида *S. vulgaris* L. — вплоть до первого снега.

Обобщая изложенное выше, подведем следующий итог:

- 1) сезонное развитие интродуцированных видов сиреней значительно различается по годам;
- 2) наступление начальной (набухание почек) и конечной (листопад) фенофаз вегетационного периода *Syringa* L. зависит от погодных условий района произрастания;
- 3) инорайонные виды сиреней устойчивы к зимним условиям.

Фенологические исследования имеют большое значение при интродукционных изысканиях, поскольку позволяют судить о том, насколько изучаемые виды соответствуют климату района интродукции. По нашим данным, все виды сиреней ежегодно и последовательно проходят все фазы сезонного развития.

В зависимости от климатических условий рассматриваемые интродуцируемые виды сиреней классифицированы по фенологическому ритму:

- 1) РР — рано начинающие и рано заканчивающие вегетацию;
- 2) РП и РП* — рано начинающие и поздно заканчивающие вегетацию;
- 3) ПР — поздно начинающие и рано заканчивающие вегетацию;
- 4) ПП — поздно начинающие и поздно заканчивающие вегетацию.

Исследуемые виды сиреней относятся к группе РП и РП*. Основные отличительные особенности растений подгруппы РП — завершение процессов вегетации нормальным листопадом, растений подгруппы РП* — потерей листвы после заморозков. Зачастую листва на ветвях можно наблюдать до весны.

Приведем некоторые особенности цветения и плодоношения сирени гималайской (*S. Emodi* Wall) в условиях г. Архангельска. Данный вид

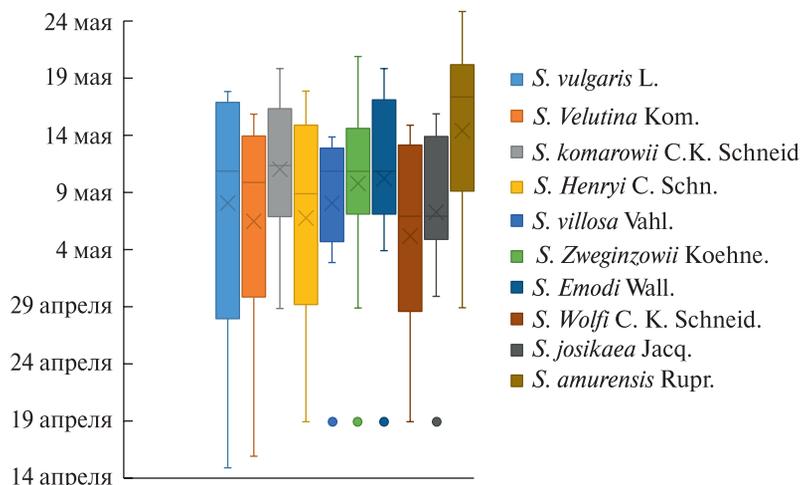


Рис. 1. Даты фенофазы набухания почек видов *Syringa* L.

Fig. 1. Dates of phenophase swelling of the kidneys of *Syringa* L. species

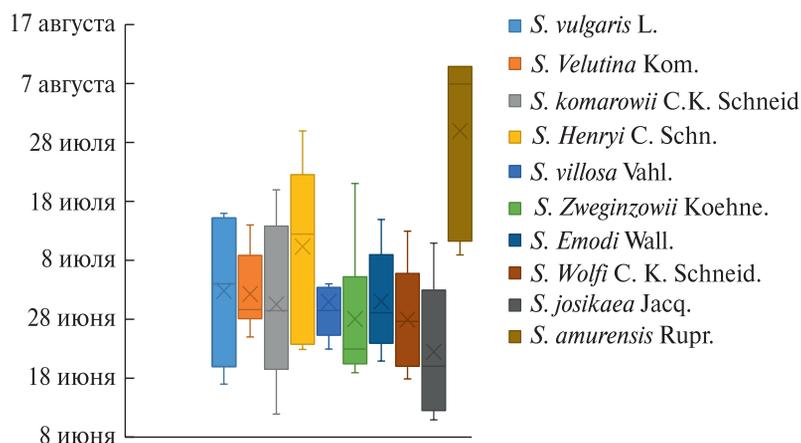


Рис. 2. Окончание фенофазы цветения *Syringa* L.

Fig. 2. The end of the phenophase of *Syringa* L. flowering

цветет и плодоносит не ежегодно, что связано, вероятно, с отсутствием необходимых условий для формирования цветочных почек. Однако это не препятствует широкому применению вида в озеленении, поскольку его декоративность проявляется не только во время цветения. Весьма декоративны также габитус кроны и особый оттенок коры стволов у этого вида [26].

Зимостойкость — один из важнейших факторов успешности интродукции древесных растений в высоких широтах, данный тезис отражен в многолетних работах ученых-северян [27–35]. Все исследованные виды сиреней в основном устойчивы к зимним условиям, о чем свидетельствует высокий балл их зимостойкости. Особенно высокой зимостойкостью отличаются дальневосточные виды *Syringa Wolfi* C. K. Schneid., *Syringa amurensis* Rupr., *S. vulgaris* L. Иногда подмерзают, но в целом устойчивы к низким температурам виды *S. josikaea* Jacq., *Syringa zweginzowii* Koehne.

Вследствие различных погодных условий отдельных лет начальные фазы вегетации у *Syringa* L. проходят в различное время. По результатам проведенных нами исследований, большей продолжительностью вегетационного периода характеризуется вид *S. amurensis* Rupr.

Установлено, что интенсивность цветения и плодоношения *Syringa* L. на севере европейской части РФ в большинстве случаев не уступает таковым у видов, произрастающих в более южных районах.

Выводы

1. В условиях Дендрария САФУ большинство видов рода *Syringa* L. цветут ежегодно и обильно. Наступление начальной (набухание почек) и конечной (листопад) фаз вегетации зависит от погодных условий конкретного года. Сезонные ритмы развития изучаемых видов соответствуют биологическим особенностям вида.

2. В зависимости от сроков цветения виды рода *Syringa* L. коллекции Дендрария САФУ подразделяются на раннецветущие, среднецветущие и поздноцветущие. Самое длительное цветение зафиксировано у вида *S. villosa* Vahl.

3. Зимостойкость исследуемых пород как определяющий фактор адаптации культуры к климатическим условиям Севера высока и характеризуется показателем I по шкале ГБС РАН.

4. Использование в озеленении сиреней с различными сроками и продолжительностью цветения увеличивает их общий период декоративности в условиях севера. В связи с этим для создания ландшафтных композиций рекомендуем виды *S. Wolfii* C. K. Schneider., *S. vulgaris* L., *S. josikaea* Jacq., *S. Henryi* C. Schn. и *S. amurensis* Rupr., основными особенностями которых являются обилие цветения, приятный аромат, декоративная форма кроны, высокая зимостойкость.

Список литературы

- [1] Богданов П.Л. Дендрология. М.: Лесная промышленность, 1974. 240 с.
- [2] Колесников Л.А. Сирень. М.: Москва. Рабочий, 1952. 52 с.
- [3] Кожаринов А.В., Минин А.А. Современные тенденции состояния природы Русской равнины // Влияние изменения климата на экосистемы. М.: Русский университет, 2001. 123 с.
- [4] Денисов Б., Стралковски-Абрамек М. Особенности цветения и пыльцы в цветках двух видов *Syringa* L. (f. Oleaceae) // Acta aarobotanica, 2013. № 4 (66). С. 65–72.
- [5] Лулева З.С., Михайлов Н.Л., Судакова Е.А. Сирень. М.: Агропромиздат, 1989. 256 с.
- [6] Kronenberg H.G. Temperature influences on the flowering dates of *Syringa vulgaris* L. and *Sorbus aucuparia* L. // Scientia Horticulturae, 1994, v. 57, pp. 59–71.
- [7] Pederson N. The influence of winter temperatures on the annual radial growth of six northern range margin tree species // Dendrochronologia, 2004, v. 22, pp. 7–29.
- [8] Marsell H., Heinz P. *Syringa vulgaris* L. // Wörterbuch der deutschen Pflanzennamen. Wiesbaden : Franz Steiner, 1979, v. 4, pp. 546–564.
- [9] McKelvey S.D. The Lilac. N.Y.: McMillan, 1928, 581 p.
- [10] Richardson A. D. Climate change, phenology, and phenological control of vegetation feedbacks to the climate system // Agricultural and Forest Meteorology, 2013, v. 169, pp. 156–173.
- [11] Yang B. Traditional uses, phytochemistry and pharmacology of genus *Syringa*: A comprehensive review // J. of Ethnopharmacology, 2020, 156 p. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2020.113465>
- [12] Андропова М.М. Рекомендации по приоритетному ассортименту древесных растений для озеленения малых городов и поселков Вологодской области. Архангельск: САФУ, 2017. 52 с.
- [13] Теодоронский В.С., Боговая И.О. Объекты ландшафтной архитектуры. М.: МГУЛ, 2003. 300 с.
- [14] Елагин И.Н. Применение методов фенологии при изучении динамики роста и развития растений // Лесоведение, 1975. № 1. С. 91–92.
- [15] Полякова Н.В., Мурзабулатова Ф.К. Декоративные кустарники в ландшафтных композициях // Hortus Botanicus, 2017. № 12 (12). С. 761–771.
- [16] Шиголев А.А., Шиманюк А.П. Сезонное развитие природы. М.: Гос. изд-во геогр. лит., 1949. 239 с.
- [17] Лапин П.И. Сезонный ритм развития древесных растений и его значение для интродукции // Бюл. ГБС Академии наук СССР. М.: Наука, 1968. Вып. 65. С. 13–17.
- [18] Полякова Н.В., Путенихин В.П. Оценка декоративности сирени (*Syringa* L.) // Аграрная Россия, 2013. № 2. С. 14–19.
- [19] Булыгин Н.Е. Фенологические наблюдения за древесными растениями. Л.: ЛТА, 1979. 96 с.
- [20] Малаховец П.М., Тисова В.А. Фенологические наблюдения за сезонным развитием деревьев и кустарников. Архангельск: Изд-во АГТУ, 1999. 48 с.
- [21] Редько Г.И. Лесные культуры. В 2 ч. Ч. 1. С.-Пб.: СПб-ГЛТА, 1999. 418 с.
- [22] Редько Г.И., Мерзленко М.Д., Бабич Н.А. Лесные культуры. В 2 ч. Ч. 1. / под. ред. Г.И. Редько. М.: Юрайт, 2019. 197 с.
- [23] Залывская О.С., Бабич Н.А. Рекомендации по ассортименту древесных и кустарниковых пород в городах Архангельской агломерации. Архангельск: САФУ, 2019. 90 с.
- [24] Каппер В.Г. Об организации ежегодных систематических наблюдений над плодоношением древесных пород // Труды по лесному опытному делу, 1930. Вып. 8. С. 130–139.
- [25] Бабич Н.А., Залывская О.С., Травникова Г.И. Интродукция в зеленом строительстве северных городов: монография. Архангельск: АГТУ, 2008. 144 с.
- [26] Шульц Г.Е. Методы фенологических наблюдений в ботанических исследованиях // Сб. науч. тр. / Под ред. Г.Е. Шульца. М.-Л.: Наука, 1966. 145 с.
- [27] Александрова Ю.В. Интродукция видов рода *Crataegus* L. в дендрологическом саду имени И.М. Стратоновича: автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук. Архангельск, 2021. 20 с.
- [28] Попкова И.А. Интродукция видов рода *Asier* L. в дендрологическом саду имени И.М. Стратоновича: автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук. Архангельск, 2022. 20 с.
- [29] Андропова М.М., Бабич Н.А., Хамитов Р.С. Ступенчатая интродукция древесных растений на севере Русской равнины. Архангельск: САФУ, 2021. 412 с.
- [30] Бабич Н.А., Карбасникова Е.Б. Натурализация видов дендрофлоры в условиях интродукционного стресса. Архангельск: САФУ, 2022. 236 с.
- [31] Бабич Н.А., Карбасникова Е.Б., Долинская И.С. Интродукция и экстраординарные виды в антропогенной среде (на примере г. Вологды). Архангельск: САФУ, 2012. 184 с.
- [32] Карбасникова Е.Б., Бабич Н.А. Рекомендации по ассортименту древесных и кустарниковых растений для озеленения промышленных городов Вологодской агломерации. Архангельск: САФУ, 2021. 60 с.
- [33] Бабич Н.А., Карбасникова Е.Б. Натурализация видов дендрофлоры в условиях интродукционного стресса. Архангельск: САФУ, 2022. 236 с.
- [34] Нилов В.Н. Рекомендации по ассортименту древесных растений для озеленения городов и поселков Севера. Архангельск, 1981. 19 с.
- [35] Малаховец П.М., Тисова В.А. Декоративные деревья и кустарники на Севере. Архангельск: СОЛТИ, 2002. 128 с.

Сведения об авторах

Залывская Ольга Сергеевна  — д-р с.-х. наук, доцент кафедры ландшафтной архитектуры и искусственных лесов, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, o.zalyvskaya@narfu.ru

Бабич Николай Алексеевич — д-р с.-х. наук, профессор кафедры ландшафтной архитектуры и искусственных лесов, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, n.babich@narfu.ru

Лебедева Ольга Петровна — ассистент кафедры ландшафтной архитектуры и искусственных лесов, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова», o.lebedeva@narfu.ru

Поступила в редакцию 19.12.2022.

Одобрено после рецензирования 19.05.2023.

Принята к публикации 07.12.2023.

GENUS *SYRINGA* L. PHENOLOGY AS INDICATOR OF ADAPTATION AND NATURALIZATION IN SUBARCTIC CONDITIONS

O.S. Zalyvskaya , N.A. Babich, O.P. Lebedeva

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

o.zalyvskaya@narfu.ru

One of the important indicators of the successful species introduction is the preservation of phenological phases in conditions of climate change and the preservation of their life form. The article presents materials of a long-term research (2009–2021) on the seasonal development of species of the genus *Syringa* L. The research was carried out in Arkhangelsk (64°33' N, 40°32' E). The results of monitoring 10 lilac species including *S. vulgaris* L., *S. velutina* Kom., *Syringa komarowii* C.K. Schneider, *S. Henryi* C. Schn., *S. villosa* Vahl., *S. zweginzowii* Koehne., *S. Emodi* Wall., *S. Wolfi* C.K. Schneider, *S. josikaea* Jacq. f., *S. amurensis* Rupr from the I.M. Stratonovich dendrological garden of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov are presented. The development of the following phases as bud swelling, bud opening, flowering, fruiting (first ripened fruits, mass ripening of fruits, falling of fruits), autumn coloring of leaves, leaf fall (beginning, mass and end of leaf fall) was analyzed. An analysis of annual changes in weather conditions was performed. It has been established that the rhythms of the seasonal development of all preserved lilacs in the arboretum collection correspond to the climatic conditions of the growing region. Different flowering periods make it possible to use certain species of *Syringa* L. as decorative elements of landscape compositions in landscaping settlements of the region. It was revealed that most species of the genus under the study showed winter hardiness score I, which indicates their adaptation to northern conditions.

Keywords: introduction, vegetation period, phenological studies, flowering, fruiting, winter hardiness, *Syringa* L.

Suggested citation: Zalyvskaya O.S., Babich N.A., Lebedeva O.P. *Fenologiya vidov roda Syringa L. kak pokazatel' adaptatsii i naturalizatsii v subarkticheskikh usloviyakh* [Genus *Syringa* L. phenology as indicator of adaptation and naturalization in subarctic conditions]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2024, vol. 28, no. 1, pp. 39–45. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-1-39-45

References

- [1] Bogdanov P.L. *Dendrologiya* [Dendrology]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forest industry], 1974, 240 p.
- [2] Kolesnikov L.A. *Siren'* [Lilac]. Moscow: Moskva. Rabochiy, 1952, 52 p.
- [3] Kozharinov A.V., Minin A.A. *Sovremennye tendentsii sostoyaniya prirody Russkoy ravniny* [Modern trends in the state of nature of the Russian plain]. *Vliyaniye izmeneniya klimata na ekosistemy* [The impact of climate change on ecosystems]. Moscow: Russkiy universitet, 2001, 123 p.
- [4] Denisov B., Stralkowski-Abramek M. *Osobennosti cveteniya i pyl'cy v cvetkakh dvuh vidov Syringa L. (f. Oleaceae)* [Features of flowering and pollen in flowers of two species *Syringa* L. (f. Oleaceae)]. *Actaafrobotanica*, 2013, no. 4 (66), pp. 65–72.
- [5] Luneva Z.S., Mikhailov N.L., Sudakova E.A. *Siren'* [Lilac]. Moscow: Agropromizdat, 1989, 256 p.
- [6] Kronenberg H.G. Temperature influences on the flowering dates of *Syringa vulgaris* L. and *Sorbus aucuparia* L. *Scientia Horticulturae*, 1994, v. 57, pp. 59–71.
- [7] Pederson N. The influence of winter temperatures on the annual radial growth of six northern range margin tree species. *Dendrochronologia*, 2004, v. 22, pp. 7–29.
- [8] Marsell H., Heinz P. *Syringa vulgaris* L. *Worterbuch der deutschen Pflanzennamen*. Wiesbaden : Franz Steiner, 1979, v. 4, pp. 546–564.
- [9] McKelvey S.D. *The Lilac*. N.Y.: McMillan, 1928, 581 p.
- [10] Richardson A. D. Climate change, phenology, and phenological control of vegetation feedbacks to the climate system. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2013, v. 169, pp. 156–173.
- [11] Yang B. Traditional uses, phytochemistry and pharmacology of genus *Syringa*: A comprehensive review. *J. of Ethnopharmacology*, 2020, 156 p. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2020.113465>

- [12] Andronova M.M. *Rekomendacii po prioritetnomu assortimentu drevesnykh rasteniy dlya ozeleneniya malyh gorodov i poselkov Vologodskoy oblasti* [Recommendations on the priority assortment of woody plants for landscaping of small towns and villages of the Vologda region]. Arkhangelsk: SAFU, 2017, 52 p.
- [13] Teodoronskiy V.S., Bogovaya I.O. *Ob'ekty landshaftnoy arkhitektury* [Objects of landscape architecture]. Moscow: MSFU, 2003, 300 p.
- [14] Elagin I.N. *Primenenie metodov fenologii pri izuchenii dinamiki rosta i razvitiya rasteniy* [Application of phenology methods in the study of plant growth and development dynamics]. Lesovedenie [Forestry], 1975, no. 1, pp. 91–92.
- [15] Polyakova N.V., Murzabulatova F.K. *Dekorativnye kustarniki v landshaftnykh kompozitsiyakh* [Ornamental shrubs in landscape compositions]. Moscow: Hortus Botanicus, 2017, no. 12 (12), pp. 761–771.
- [16] Shigolev A.A., Shimanyuk A.P. *Sezonnoe razvitie prirody* [Seasonal development of nature]. Moscow: Gos. izd-vo geogr. lit., 1949, 239 p.
- [17] Lapin P.I. *Sezonnyy ritm razvitiya drevesnykh rasteniy i ego znachenie dlya introduktsii* [Seasonal rhythm of development of woody plants and its significance for introduction]. Byul. GBS Akademii nauk SSSR [Byul. GBS Academy of Sciences of the USSR]. Moscow: Nauka, 1968, iss. 65, pp. 13–17.
- [18] Polyakova N.V., Putenikhin V.P. *Otsenka dekorativnosti sireni (Syringa L.)* [Assessment of decorative lilac (*Syringa* L.)]. Agrarnaya Rossiya [Agrarian Russia], 2013, no. 2, pp. 14–19.
- [19] Bulygin N.E. *Fenologicheskie nablyudeniya za drevesnymi rasteniyami* [Phenological observations of woody plants]. Leningrad: LTA, 1979, 96 p.
- [20] Malakhovets P.M., Tisova V.A. *Fenologicheskie nablyudeniya za sezonnym razvitiem derev'ev i kustarnikov* [Phenological observations of seasonal development of trees and shrubs: An educational and methodical manual]. Arkhangelsk: Publishing House of AGTU, 1999, 48 p.
- [21] Red'ko G.I. *Lesnye kul'tury*. V 2 ch. Ch. 1. [Forest cultures. In 2 h. Part 1]. St. Petersburg: SPbGLTA, 1999, 418 p.
- [22] Red'ko G.I., Merzlenko M.D., Babich N.A. *Lesnye kul'tury*. V 2 ch. Ch. 1 [Forest cultures. In 2 h. Part 1: textbook for academic bachelor's degree]. Moscow: Yurayt Publishing House, 2019, 197 p.
- [23] Zalyvskaya O.S., Babich N.A. *Rekomendatsii po assortimentu drevesnykh i kustarnikovykh porod v gorodakh Arkhangel'skoy aglomeratsii* [Recommendations on the assortment of tree and shrub species in the cities of the Arkhangelsk agglomeration: textbook]. Arkhangelsk: SAFU, 2019, 90 p.
- [24] Kapper V.G. *Ob organizatsii ezhegodnykh sistemicheskikh nablyudeniy nad plodonosheniem drevesnykh porod* [On the organization of annual systematic observations of fruiting of tree species]. Trudy po lesnomu opytному delu [Proceedings on experimental forestry], 1930, v. 8, pp. 130–139.
- [25] Babich N.A., Zalyvskaya O.S., Travnikova G.I. *Introducenty v zelenom stroitel'stve severnykh gorodov* [Introducents in the green construction of northern cities]. Arkhangelsk: AGTU, 2008, 144 p.
- [26] Shul'ts G.E. *Metody fenologicheskikh nablyudeniy v botanicheskikh issledovaniyakh* [Methods of phenological observations in botanical research]. Moscow–Leningrad: Nauka, 1966, 145 p.
- [27] Aleksandrova Yu.V. *Introduktsiya vidov roda Crataegus L. v dendrologicheskom sadu imeni I.M. Stratonovicha* [Introduction of species of the genus *Crataegus* L. in the dendrological garden named after I.M. Stratonovich]. Abstract Diss. Cand. Sci. (Agric.). Arkhangelsk, 2021. – 20 p.
- [28] Popkova I.A. *Introduktsiya vidov roda Acer L. v dendrologicheskom sadu imeni I.M. Stratonovicha* [Introduction of species of the genus *Acer* L. in the dendrological garden named after I.M. Stratonovich]. Abstract Diss. Cand. Sci. (Agric.). Arkhangelsk, 2022, 20 p.
- [29] 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: NArFU, 2021, 412 p.
- [30] Babich N.A., Karbasnikova E.B. *Naturalizatsiya vidov dendroflory v usloviyakh introduktsionnogo stressa* [Naturalization of dendroflora species under conditions of introduction stress]. Arkhangelsk: NArFU, 2022, 236 p.
- [31] Babich N.A., Karbasnikova E.B., Dolinskaya I.S. *Introducenty i ekstrazonal'nye vidy v antropogennoy srede (na primere g. Vologdy)* [Introduced and extrazonal species in the anthropogenic environment (using the example of Vologda)]. Arkhangelsk: NArFU, 2012, 184 p.
- [32] Karbasnikova E.B., Babich N.A. *Rekomendatsii po assortimentu drevesnykh i kustarnikovykh rasteniy dlya ozeleneniya promyshlennykh gorodov Vologodskoy aglomeratsii* [Recommendations for the assortment of tree and shrub plants for landscaping industrial cities of the Vologda agglomeration]. Arkhangelsk: NArFU, 2021, 60 p.
- [33] Babich N.A., Karbasnikova E.B. *Naturalizatsiya vidov dendroflory v usloviyakh introduktsionnogo stressa* [Naturalization of dendroflora species under conditions of introduction stress]. Arkhangelsk: NArFU, 2022, 236 p.
- [34] Nilov V.N. *Rekomendatsii po assortimentu drevesnykh rasteniy dlya ozeleneniya gorodov i poselkov Severa* [Recommendations on the assortment of woody plants for landscaping cities and towns of the North]. Arkhangelsk, 1981, 19 p.
- [35] Malakhovets P.M., Tisova V.A. *Dekorativnye derev'ya i kustarniki na Severe* [Ornamental trees and shrubs in the North]. Arkhangelsk: SOLTI, 2002. 128 p.

Authors' information

Zalyvskaya Ol'ga Sergeevna  — Dr. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Department of Landscape Architecture and Artificial Forests, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, o.zalyvskaya@narfu.ru

Babich Nikolay Alekseevich — Dr. Sci. (Agriculture), Professor of the Department of Landscape Architecture and Artificial Forests, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, n.babich@narfu.ru

Lebedeva Ol'ga Petrovna — Assistant of the Department of Landscape Architecture and Artificial Forests, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, o.lebedeva@narfu.ru

Received 19.12.2022.

Approved after review 19.05.2023.

Accepted for publication 07.12.2023.

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

СТРУКТУРА ХВОИ СОСНЫ СКРУЧЕННОЙ *PINUS CONTORTA* DOUGL. И СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ *PINUS SYLVESTRIS* L. В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ КУЛЬТУРАХ

С.Н. Плюснина✉, А.Л. Федорков, Р.Г. Гуляев

ФГБУН «Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук»
(Институт биологии Коми НЦ УрО РАН), Россия, 167982, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28

pplusnina@ib.komisc.ru

Приведены данные по морфологии и анатомии хвои сосны скрученной *Pinus contorta* Dougl. и сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L., произрастающих в экспериментальных культурах в подзоне средней тайги Республики Коми. Установлено, что по длине хвои сосна скрученная превосходит сосну обыкновенную на 28 % ($p < 0,001$), а по площади сечения — на 15 % ($p < 0,001$), число устьиц на 1 мм длины хвои у сосны скрученной меньше на 17 %. Показано, что на поперечном срезе хвои наибольшую площадь занимает основная фотосинтезирующая ткань — мезофилл: у сосны скрученной — 48 %, у сосны обыкновенной — 44 %. В мезофилле хвои сосны скрученной закладывается от 0 до 4 смоляных хода, а у сосны обыкновенной — от 3 до 15. Сосна скрученная отличается формированием двух-четырёхрядной гиподермы и слабым развитием межпучковой склеренхимы. Выявлено, что охвоенность двухлетних побегов и доля сохранившихся на них брахистом на побегах обеспечивают высокую интенсивность роста интродуцента, дают преимущество перед аборигенной породой при накоплении биомассы и свидетельствуют об успешной адаптации сосны скрученной к условиям подзоны средней тайги. Полученные результаты расширяют имеющиеся сведения по анатомии хвои сосны скрученной и вариативности структурных признаков у исследованных видов. Изученные параметры по морфологии побегов и сохранности ассимиляционного аппарата могут использоваться при оценке состояния сосны скрученной при интродукции.

Ключевые слова: *Pinus contorta*, *Pinus sylvestris*, экспериментальные культуры, морфология и анатомия хвои

Ссылка для цитирования: 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

Сосна скрученная *Pinus contorta* Dougl. и сосна обыкновенная *Pinus sylvestris* L. — двухвойные сосны, представители самого крупного рода *Pinus* в семействе Pinaceae. Оба вида имеют обширные естественные ареалы: сосна скрученная в западной части Северной Америки [1], сосна обыкновенная — в Евразии [2]. В таежных условиях Северо-Запада России в культурах было выявлено превосходство по объему ствола сосны скрученной северного происхождения над сосной обыкновенной [3, 4]. Одной из причин преимущества сосны скрученной над сосной обыкновенной считается более продолжительный период роста [5, 6]. Морфология побегов сосны скрученной в границах естественного ареала подробно описана в работе [7], репродуктивная биология — в работе [8]. Оценены возобновление сосны скрученной в культурных посадках в Швеции [9] и всхожесть семян в испытательных культурах на юге Карелии [5], изучен ход роста интродуцента и показано преимущество сосны скрученной по производитель-

ности перед сосной обыкновенной на плантациях на юге Карелии [10], в Архангельской области [11] и в Республике Коми [3, 12]. Сосна скрученная рассматривается как равноценная альтернатива сосне обыкновенной для озеленения малых северных городов европейской части России [13]. Несмотря на широкое распространение и активную интродукцию сосны скрученной в Европе [14, 15], сведения о структуре хвои приводятся в единичных работах [16, 17], чаще рассматривается ее морфология [4]. Напротив, структура хвои сосны обыкновенной описана подробно [18–20], в том числе в зависимости от воздействия абиотических факторов [21–23]. Структурные особенности хвои как основного фотосинтезирующего органа помогут объяснить возможные причины превосходства в скорости роста сосны скрученной над сосной обыкновенной в таежных условиях.

Цель работы

Цель работы — выявление особенностей морфолого-анатомической структуры хвои сосны скрученной *Pinus contorta* Dougl. и сосны обыкновенной

новенной *Pinus sylvestris* L. в экспериментальных культурах в подзоне средней тайги Республики Коми.

Материалы и методы

В 2004 г. в Республике Коми была заложена серия экспериментальных культур из шести происхождений сосны скрученной *Pinus contorta* var. *latifolia*, выращенной из семян, заготовленных на лесосеменных плантациях Швеции, которые были заложены по географическому принципу семенными потомствами плюсовых деревьев, отобранных в Канаде. В качестве контроля использовали семена сосны обыкновенной местного происхождения. Для посадки использовали однолетние сеянцы, выращенные в полиэтиленовых теплицах [3]. Показано, что высота деревьев, диаметр и объем их ствола, а также доля стволов без дефектов больше у сосны скрученной северного происхождения [3]. Преимущество сосны скрученной северного происхождения отмечено также для северной тайги [4]. В настоящей работе материал для проведения исследований собран в экспериментальных культурах Сторожевского лесничества (подзоны средней тайги, 61°53' с. ш., 52°53' в. д.), с деревьев сосны скрученной из семян шведского происхождения Нарлинге (60°03' с. ш., 17°01' в. д.), показавшего наибольшее превосходство над сосной обыкновенной по высоте, диаметру и объему ствола [3], и с деревьев сосны обыкновенной из семян местного происхождения. Подробная характеристика экспериментальных культур приведена в работах [24, 25].

Для морфологических и анатомических исследований срезали ветви с южной стороны средней части кроны с 10 деревьев каждого вида в августе 2021 г. На однолетних побегах II и III порядков ветвления определяли длину годичных побегов ($n \geq 20$), число хвои на побеге ($n \geq 20$), длину хвои ($n \geq 400$), число рядов устьиц ($n = 300$), число устьиц на 1 мм длины ряда в средней части хвои ($n = 1800$). На побегах разного возраста определяли охвоенность и сохранность брахибластов.

Листовые следы растений являются частью проводящей системы стебля [26]. У сосны листовые следы связывают центральный цилиндр и укороченный побег. Подсчет числа листовых следов на продольном срезе годичных секций (побегов) ствола позволяет точно определить число сформировавшейся хвои и используется при ретроспективной оценке параметров ее сохранности у сосны обыкновенной [27].

Метод изучения листовых следов позволяет определить время жизни хвои на побеге, однако требует трудоемкого препарирования ствола дерева. В настоящей работе приведены результаты

определения доли сохранившихся брахибластов с хвоей относительно числа сформировавшихся брахибластов на годичных побегах ветвей II и III порядков ветвления. Это позволило оценить интенсивность потери хвои побегом в течение нескольких лет. Число заложённых укороченных побегов определяли по числу рубцов, оставшихся после естественного опадения и удаления их при подсчете сохранившихся. Рубцы брахибластов хорошо определяются при внешнем осмотре побегов длительное время.

На поперечных срезах однолетней хвои анализировали следующие показатели:

- толщину, ширину и площадь сечения хвои;
- абсолютные и относительные площади сечений: эпидерма + гиподерма, смоляные ходы с клетками обкладки, мезофилл, эндодерма, центральный цилиндр, проводящие пучки ($n = 300$ для каждого параметра);
- толщину клеток эпидермы, гиподермы, мезофилла, проводящих элементов ксилемы и флоэмы.

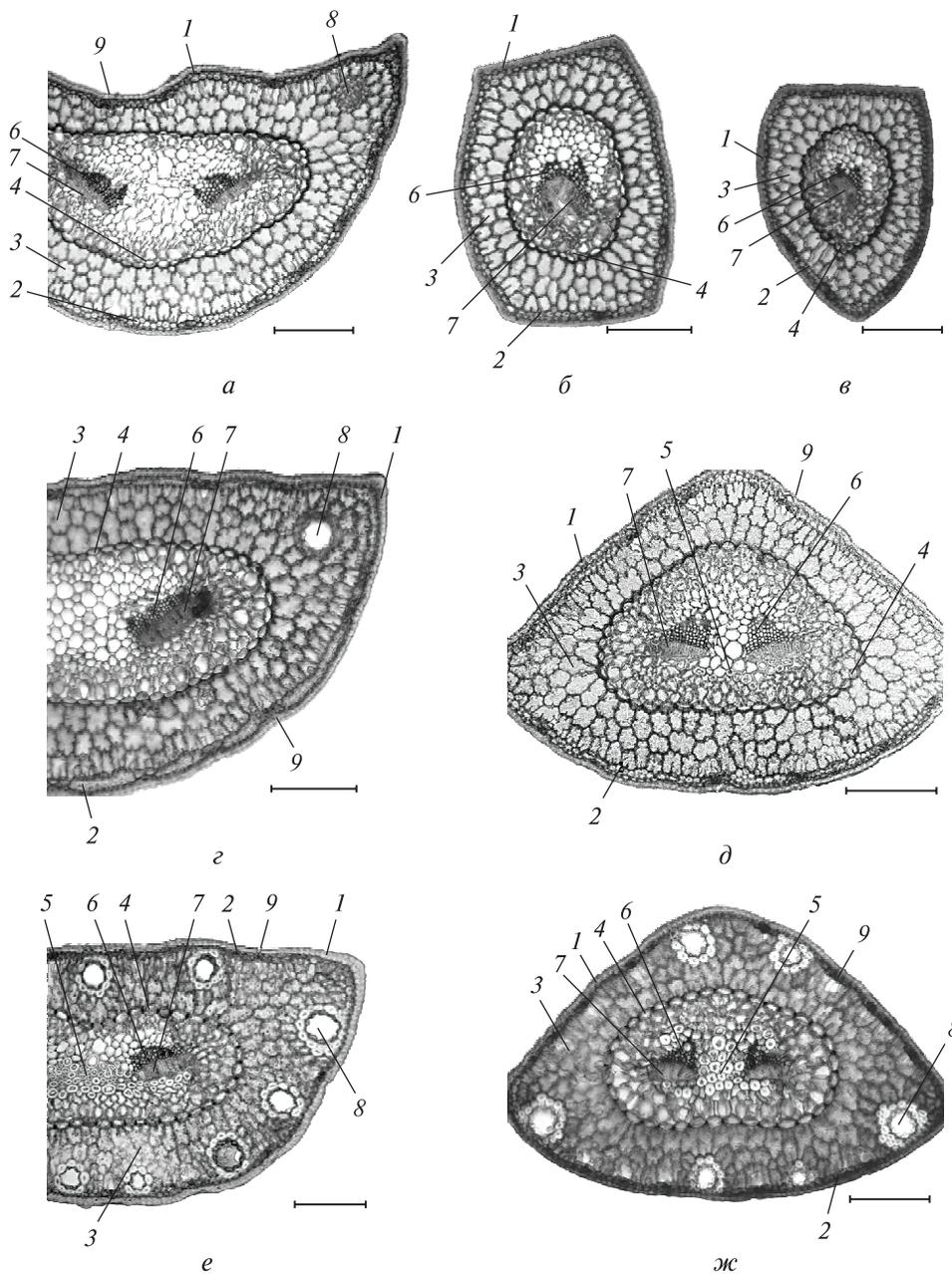
Поперечные срезы для приготовления временных препаратов получали из средней трети хвои. Срезы просматривали под микроскопом Axiovert 200 M (Carl Zeiss, Германия). Фотосъемку проводили цифровой камерой AxioCam ERc 5s (Carl Zeiss, Германия), морфометрические измерения — с помощью программы ZEN 2011 (Carl Zeiss, Германия).

Значимость различий между сосной обыкновенной и сосной скрученной оценивали с помощью *t*-критерия Стьюдента. Для статистического анализа использовали пакет программ Statistica 6.0.

Результаты и обсуждение

Морфология побегов и хвои. У обоих исследуемых видов на удлинённых побегах (ауксипластах) формируются укороченные побеги (брахибласты), несущие преимущественно по две хвоинки. Однако и у сосны обыкновенной, и у сосны скрученной встречаются треххвойные брахибласты: в первом случае — редко и в малом количестве, во втором — до 50 % общего их числа на годичном побеге. Кроме того, у сосны скрученной крайне редко формируются и четыреххвойные брахибласты, где две хвоинки имеют нормальную длину и площадь сечения, а оставшиеся две отличаются меньшими размерами (рисунок, а–в).

Анализ полученных данных показал (табл. 1), что средние значения по длине годичного побега интродуцента на 14...16 % превышают таковые у аборигенного вида, однако различия не значимы вследствие высокой вариабельности признака (20...48 %). Полностью сформированная одно- и двухлетняя хвоя сосны скрученной превосходит хвою сосны обыкновенной по длине на 27 и 28 %



Поперечный срез хвои сосны скрученной (а-д) и сосны обыкновенной (е, ж): 1 — эпидерма; 2 — гиподерма; 3 — мезофилл; 4 — эндодерма; 5 — межпучковая склеренхима; 6 — ксилема; 7 — флоэма; 8 — смоляные ходы; 9 — устьице; размер масштабной линейки 200 мкм
 Needle cross section of lodgepole pine (a-d) and Scots pine (e, ж): 1 — epidermis; 2 — hypodermis; 3 — mesophyll; 4 — endodermis; 5 — sclerenchyma; 6 — xylem; 7 — phloem; 8 — resin ducts; 9 — stomata; the scale bar is 200 μm

соответственно ($p \leq 0,001$). Ранее показано [28], что в условиях северной тайги длина хвои сосны скрученной на 40 % больше, чем у сосны обыкновенной. Терминальные побеги сосны скрученной по длине также превосходили сосну обыкновенную на 40 %, при этом боковые, как отмечают авторы, отличались незначительно.

Охвоенность однолетних побегов в экспериментальных культурах Сторожевского лесничества между видами не отличается и составляет в среднем 1,5–1,6 хвоинок на 1 мм длины. Однако

потеря хвои у аборигенной сосны происходит интенсивнее и охвоенность двухлетних побегов снижается в 3,8 раза относительно однолетних. На двухлетних побегах сосны обыкновенной число сохранившихся брахибластов, несущих хвою, в среднем было в 2,5 раза ниже по сравнению с интродуцентом (см. табл. 1). Показано [29], что в условиях Архангельской области у сосны скрученной в возрасте 10 лет охвоенность побегов в 1,5–2,2 раза больше, чем у сосны обыкновенной.

Т а б л и ц а 1

Морфологическая характеристика годовых побегов сосны

The morphology of annual pine shoots

Параметр	Возраст побега	<i>Pinus sylvestris</i>	<i>Pinus contorta</i>
		Длина стебля, мм	Однолетний
	Двухлетний	104,7 ± 8,6	124,9 ± 5,6
Длина хвои, мм	Однолетний	44,7 ± 0,2	61,3 ± 0,5*
	Двухлетний	41,5 ± 0,2	58,0 ± 0,6*
Число хвои на годичном побеге	Однолетний	121 ± 6	143 ± 13
	Двухлетний	41 ± 5	130 ± 17*
Охвоенность побега, шт./мм	Однолетний	1,60 ± 0,04	1,52 ± 0,08
	Двухлетний	0,42 ± 0,04	1,09 ± 0,12*
Сохранность брахибластов, %	Однолетний	92,7 ± 0,8	91,0 ± 2,5
	Двухлетний	24,2 ± 2,1	61,7 ± 6,1*

*Различия между породами статистически значимы при уровне $p \leq 0,001$.

Т а б л и ц а 2

Морфологическая характеристика однолетней хвои сосны

The morphology of one-year-old pine needle

Параметр	Плоско-выпуклая хвоя		Двугранно-выпуклая хвоя
	<i>Pinus sylvestris</i>	<i>Pinus contorta</i>	<i>Pinus contorta</i>
Ширина хвои, мм	1,45 ± 0,006	1,52 ± 0,008	1,51 ± 0,023
Толщина хвои, мм	0,69 ± 0,003	0,78 ± 0,003	0,90 ± 0,013
Площадь сечения хвои, мм ²	0,82 ± 0,007	0,97 ± 0,009	0,86 ± 0,023
Число рядов устьиц	20,4 ± 0,17	18,8 ± 0,16	16,2 ± 0,29
Число устьиц в 1 мм ряда	11,9 ± 0,03	10,7 ± 0,03	10,1 ± 0,08
Число устьиц на 1 мм хвои	241,8	201,2	163,6
Число смоляных ходов	7,9 ± 0,10	1,8 ± 0,04	1,4 ± 0,17
Число смоляных ходов min...max	3...15	0...4	0...3

Примечание. Для всех параметров различия между породами статистически значимы при уровне $p \leq 0,001$.

У обоих видов продольные ряды устьиц, контролирующих обмен газов (водяного пара, CO₂ и др.) между внутренними тканями и атмосферой [26], формируются на всех гранях хвоинки. При этом интенсивность газообмена зависит и от количества устьиц [30]. Сосна обыкновенная на 17 % ($p < 0,001$) превосходит сосну скрученную по суммарному числу устьиц на 1 мм длины хвои как за счет числа рядов, так и за счет плотности

Т а б л и ц а 3

Анатомическая характеристика однолетней хвои сосны

Anatomical characteristics of one-year-old pine needles

Параметр	Плоско-выпуклая хвоя		Двугранно-выпуклая хвоя
	<i>Pinus sylvestris</i>	<i>Pinus contorta</i>	<i>Pinus contorta</i>
Относительная площадь на поперечном срезе хвои, %*			
Эпидерма + гиподерма	16,8 ± 0,08	19,4 ± 0,08	20,3 ± 0,25
Мезофилл	43,9 ± 0,16	47,7 ± 0,13	48,0 ± 0,26
Эндодерма	5,9 ± 0,03	4,5 ± 0,04	4,7 ± 0,14
Центральный цилиндр	23,4 ± 0,13	25,6 ± 0,12	24,6 ± 0,22
Проводящие пучки	2,6 ± 0,02	3,0 ± 0,03	3,2 ± 0,07
Смоляные ходы + клетки обкладки	9,9 ± 0,12	2,7 ± 0,07	2,4 ± 0,29
Радиальный диаметр на поперечном срезе хвои, мкм			
Эпидерма	18,4 ± 0,31	17,2 ± 0,19*	16,6 ± 0,47
Гиподерма	12,7 ± 0,23	10,5 ± 0,18*	10,4 ± 0,32
Мезофилл	57,2 ± 0,77	61,8 ± 0,97*	60,2 ± 1,54
Эндодерма	26,2 ± 0,40	22,6 ± 0,39*	21,2 ± 0,37
Трахеиды ксилемы	8,5 ± 0,29	8,9 ± 0,30	9,8 ± 0,27
Ситовидные клетки флоэмы	6,1 ± 0,23	5,4 ± 0,20*	5,5 ± 0,17
Число клеток в проводящем пучке			
Трахеиды ксилемы	41,1 ± 2,7	53,6 ± 2,6*	66,8 ± 1,8
Ситовидные клетки флоэмы	60,0 ± 4,2	63,5 ± 2,8	60,3 ± 2,2

*Различия между породами статистически значимы при уровне $p \leq 0,05$.

расположения устьиц в ряду (табл. 2). В условиях северной тайги среднесуточная транспирация сосны скрученной на 10 % ниже таковой у сосны обыкновенной [31].

На поперечном срезе хвои изучаемых видов в случае двуххвойных брахибластов плоско-выпуклая (рисунок, *з, е*), у треххвойных — двугранно-выпуклая (рисунок, *д, ж*). В первом случае сосна скрученная превосходит сосну обыкновенную по площади сечения на 15 %, по толщине — на 12 % (см. табл. 2). Порядок расположения тканей у обоих видов схож (рисунок, *з, е*), сосна обыкновенная и сосна скрученная отличаются по степени их развития (табл. 3). Под эпидермой у сосны обыкновенной на гранях формируется однослойная гиподерма, в районе ребер — чаще двухслойная, у сосны скрученной по всему периметру — двух-четырёхрядная, при этом второй и последующие внутренние ряды клеток сильно склерифицированы.

Несмотря на значительно меньшие радиальные размеры клеток (см. табл. 3) как покровной ткани эпидермы, так и расположенной под ней механической — гиподермы, сосна скрученная превосходит сосну обыкновенную по значениям относительной площади сечения комплекса этих тканей на поперечном срезе хвои (см. табл. 3). Это связано с многорядностью гиподермы у сосны скрученной.

Относительная площадь мезофилла (основной фотосинтезирующей ткани) на поперечном сечении хвои мало различается по породам (см. табл. 3) и составляет 43...46 % у сосны обыкновенной и 44...50 % у сосны скрученной. По периферии мезофилла закладываются смоляные каналы (ходы), окруженные клетками обкладки, которые у сосны обыкновенной имеют сильно утолщенные клеточные стенки. У евразийского вида сосны чаще всего смоляные каналы примыкают к гиподерме, число их сильно варьирует (см. табл. 2): в экспериментальных культурах Сторожевского лесничества в хвое встречалось от 3 до 15 смоляных каналов. У североамериканского вида они отделены от гиподермы клетками ассимиляционной паренхимы (мезофилла), число их значительно меньше — от 0 до 4. Суммарная абсолютная площадь сечения смоляных ходов с клетками обкладки на поперечном срезе хвои сосны скрученной в 3 раза меньше, чем у сосны обыкновенной. В связи с этим полностью сформированная хвоя сосны скрученной статистически значимо уступает сосне обыкновенной по их относительной площади (см. табл. 3). Перераспределение относительных площадей происходит преимущественно в пользу мезофилла.

Мезофилл складчатый, между гиподермой и эндодермой клетки формируют по 2–3 ряда с адаксиальной и абаксиальной сторон. Эндодерма отделяет фотосинтезирующую ткань от комплекса проводящих и запасающих тканей — центрального (проводящего) цилиндра. Сосна скрученная превосходит сосну обыкновенную по размерам клеток мезофилла и эндодермы на 7 и 14 % соответственно ($p \leq 0,001$). Помимо размеров, клетки эндодермы отличаются характером утолщения оболочки. У сосны обыкновенной утолщения отмечены только на радиальных стенках (пояски Каспари), у сосны скрученной утолщены радиальные и внешняя тангентальная (периклиальная) стенки.

У обоих видов формируются по два проводящих пучка (см. рисунок), между которыми является межпучковая склеренхима. Последняя у сосны скрученной слабо выражена. Сочетание большой длины со слабым развитием механической ткани (клеток обкладки смоляных ходов и межпучковой склеренхимы) может приводить к

формированию характерной, слегка извилистой и скрученной формы хвои. Напротив, клеточные стенки склеренхимы центрального цилиндра у сосны обыкновенной сильно утолщены (см. рисунок, *e*). Ксилема расположена на адаксиальной, флоэма — на абаксиальной стороне. Проводящие элементы формируют ряды, которые чередуются с рядами клеток паренхимы. Сосна скрученная статистически значимо ($p \leq 0,01$) превосходит сосну обыкновенную по числу водопроводящих элементов ксилемы (см. табл. 3), в основном за счет их числа в ряду ($p \leq 0,001$), что, в свою очередь, происходит за счет хорошей сохранности элементов протоксилемы. Сосна обыкновенная характеризуется более крупными ситовидными клетками ($p \leq 0,05$).

Треххвойные брахибласты у сосны скрученной встречаются чаще и в большем объеме, чем у аборигенной породы. Это позволило провести сравнительный морфолого-анатомический анализ плоско-выпуклой и двугранно-выпуклой хвои сосны скрученной (см. табл. 2, 3). В последнем случае хвоинки в одном пучке отличаются между собой углом между двумя гранями: у двух он больше, чем у третьей. Все три хвоинки в поперечном сечении формируют фигуру, близкую к кругу, так же, как и две хвоинки у двуххвойных брахибластов. Средняя площадь сечения двугранно-выпуклой хвои сосны скрученной меньше плоско-выпуклой на 13 %, однако за счет большей толщины, площадь сечения всей хвои в треххвойном брахибласте превышает на 25 % таковую в двуххвойном. Суммарное число устьиц на 1 мм длины меньше на 19 % по причине снижения количества рядов на гранях (см. табл. 2). Относительные площади тканей на поперечном срезе имеют близкие значения у двух форм хвои сосны скрученной (см. табл. 3).

Интересно, что даже у двух редуцированных хвоинок четыреххвойных брахибластов сосны скрученной сохраняется практически весь набор тканей (см. рисунок, *b*, *v*).

Согласно базе данных World Flora Online [32] *Pinus contorta* Douglas ex Loudon представлена разновидностями: var. *contorta*, var. *latifolia* Engelm. ex S. Watson и var. *murrayana* (Balf.) Engelm. В отечественной литературе достаточно подробно описана анатомия хвои сосны Мюррея, вероятно, одной из указанных выше разновидностей сосны скрученной [16, 17]. Такие видовые анатомические признаки сосны скрученной, как формирование двух смоляных каналов, их паренхиматическое расположение, утолщение не только радиальных, но и внешней тангентальной стенки эндодермы, слабое развитие межпучковой склеренхимы, упоминаются в этих двух работах. По данным наших исследований, в хвое *Pinus*

contorta var. *latifolia* формируется до четырех смоляных каналов, при этом в 74 % случаев их два. Более чем в 10 % случаев каналы отсутствовали. Возможно, поэтому хвоя сосны скрученной в некоторых источниках описана как не имеющая смоляных каналов [2]. Меньшее количество смолообразующих структур по сравнению с сосной обыкновенной отмечено и для древесины сосны Мюррея [16], что является причиной снижения ее смолистости, но, соответственно, повышает ее ценность для целлюлозно-бумажной промышленности. Как показали результаты проведенных нами исследований, при просмотре неокрашенных срезов хвои в режиме флуоресценции характер свечения содержимого смоляных ходов отличается у изучаемых сосен. Это свидетельствует о разном химическом составе секрета, что подтверждается имеющимися в литературе данными [33]: в условиях Центрального ботанического сада НАН Беларуси в составе эфирных масел у *Pinus murrayana* и *Pinus sylvestris* преобладают монотерпеноиды, однако у сосны Мюррея их доля на 21 % больше, чем у сосны обыкновенной. В первом случае среди монотерпеноидов значительную долю составляют β -пинен и лимонен, а во втором — α -пинен и 3-карен. В отличие от сосны скрученной хвоя сосны обыкновенной характеризуется значительным накоплением сесквитерпеноидов. Известно, что эфирные масла, входящие в состав смолы хвойных, выполняют защитные функции, поскольку токсичны для большинства травоядных и насекомых-вредителей [34], обладают антифунгальной активностью [35]. Одной из причин лучшей приживаемости сосны скрученной является более высокая устойчивость к грибным болезням, таким как снежное шютте и сосновый вертун [14]. Возможно, отличия в содержании вторичных метаболитов в органах и тканях рассмотренных видов являются одной из причин разной устойчивости к патогенам и вредителям. Как показано в работе [36], накопление минеральных элементов в надземных органах сосны скрученной также имеет свои особенности: более низкое содержание азота и калия в ассимилирующих органах и более высокая концентрация минеральных элементов в древесине и ствольной коре по сравнению с сосной обыкновенной.

Выводы

1. В средней тайге сосна скрученная, произрастающая в экспериментальных культурах в Сторожевском лесничестве, превосходит сосну обыкновенную по длине, ширине, толщине и площади сечения хвои, а также по ее сохранности у двухлетних побегов.

2. Сосна скрученная уступает сосне обыкновенной по количественным характеристикам

устыиц и числу смоляных каналов, участие которых в сложении хвои в 3,7 раза меньше, чем у сосны обыкновенной.

3. Перераспределение парциальных объемов тканей в хвое сосны скрученной происходит в пользу механической ткани — гиподермы — за счет увеличения числа ее рядов. В пользу парциальных объемов мезофилла и центрального цилиндра отходят небольшие доли, однако все показанные различия между видами значимы.

4. Большие размеры и сохранность фотосинтезирующих органов на побегах интродукта относительно аборигенной породы способствуют высокой интенсивности роста, обеспечивают преимущество при накоплении биомассы и свидетельствуют об успешной адаптации сосны скрученной к условиям подзоны средней тайги.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института биологии Коми НЦ УрО РАН «Зональные закономерности динамики структуры и продуктивности первичных и антропогенно измененных фитоценозов лесных и болотных экосистем европейского Северо-Востока России» (122040100031-8).

Список литературы

- [1] Элайс Т.С. Североамериканские деревья: определитель / под ред. И.Ю. Коропачинского. Новосибирск: Изд-во Центрального сибирского ботанического сада СО РАН, 2014. 959 с.
- [2] Козубов Г.М., Муратова Е.Н. Современные голосеменные (морфолого-систематический обзор и кариология) / под ред. А.А. Яценко-Хмелевского. Л.: Наука, 1986. 192 с.
- [3] Fedorkov A., Gutiy L. Performance of lodgepole pine and Scots pine in field trials located in north-west Russia // *Silva Fennica*, 2017, v. 51, no. 1, 10 p. Article id 1692. DOI: 10.14214/sf.1692
- [4] Феклистов П.А., Бирюков С.Ю., Федяев А.Л. Сравнительные эколого-биологические особенности сосны скрученной и обыкновенной в северной подзоне европейской тайги. Архангельск: Изд-во Архангельского государственного технического университета, 2008. 118 с.
- [5] Мордась А.А., Раевский Б.В. Всхожесть семян и рост сосны скрученной в Карелии // *Лесоведение*, 1992. № 1. С. 89–94.
- [6] Fedorkov A. Variation in shoot elongation patterns in *Pinus contorta* and *Pinus sylvestris* in north-west Russia // *Scandinavian J. of Forest Research*, 2010, v. 25, no. 3, pp. 208–212. DOI: 10.1080/02827581.2010.491229
- [7] Structure and Composition of Subalpine Conifers in the Emerald Lake Watershed, Sequoia National Park, California // *Madroño*, 2018, v. 65, no. 2, pp. 80–88.
- [8] Owens J.N. The reproductive biology of lodgepole pine // *Forest Genetics Council of British Columbia*. Canada, 2006, 66 p. URL: <http://www.fgcouncil.bc.ca/ExtNote7-Final-web.pdf>. (дата обращения 26 декабря 2022 г.).
- [9] Jacobson S., Hannerz M. Natural regeneration of lodgepole pine in boreal Sweden // *Biol Invasions*, 2020, v. 22, pp. 2461–2471. DOI: 10.1007/s10530-020-02262-0

- [10] Раевский Б.В. Ход роста смешанных культур сосны скрученной и сосны обыкновенной в южной Карелии // Известия Коми научного центра УрО РАН, 2010. № 1 (1). С. 31–38.
- [11] Демидова Н.А., Дуркина Т.М., Гоголева Л.Г., Демиденко С.А., Быков Ю.С., Парамонов 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.
- [12] Демидова Н.А., Дуркина Т.М., Гоголева Л.Г., Быков Ю.С., Парамонов А.А. Рост сосны скрученной (*Pinus contorta* Loud. var. *latifolia* S. Wats.) в Сторожевском лесничестве Республики Коми // Лесохозяйственная информация, 2017. № 1. С. 24–33. URL: <http://lhi.vniilm.ru/>
- [13] Бабич Н.А., Андропова М.М. Сосна скрученная – перспективный интродуцент для озеленения малых северных городов // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал, 2014. № 6 (342). С. 155–160.
- [14] Elfving B., Ericsson T., Rosvall O. The introduction of lodgepole pine for wood production in Sweden — a review // Forest Ecology and Management, 2001, v. 141, pp. 15–29. DOI: [org/10.1016/S0378-1127\(00\)00485-0](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00485-0)
- [15] Backlund I., Bergsten U. Biomass Production of Dense Direct-Seeded Lodgepole Pine (*Pinus contorta*) at Short Rotation Periods // Silva Fennica, 2012, 46(4), pp. 609–623.
- [16] Косиченко Н.Е., Куцевалов М.А. Особенности анатомической структуры хвои и древесины сосны Мюррея // Генетика, селекция, семеноводство и интродукция лесных пород: сб. науч. тр. ЦНИИЛГиС. Воронеж: Изд-во ЦНИИЛГиС, 1977. Вып. 4. С. 87–89.
- [17] Нестерович Н.Д., Дерюгина Т.Ф. Структурные особенности листьев хвойных. Минск: Наука и техника, 1986. 43 с.
- [18] Цельникер Ю.Л., Малкина И.С., Ковалев А.Г., Чмора С.Н., Мамаев В.В., Молчанов А.Г. Рост и газообмен CO₂ у лесных деревьев. М.: Наука, 1993. 256 с.
- [19] Liesche J., Martens H.J., Schulz A. Symplasmic transport and phloem loading in gymnosperm leaves // Protoplasma, 2011, v. 248, pp. 181–190.
- [20] Плюснина С.Н., Тужилкина В.В. Структурно-функциональная характеристика фотосинтетического аппарата подростка *Pinus sylvestris* (Pinaceae) в подзоне средней тайги европейского Северо-Востока // Ботанический журнал, 2021. Т. 106. № 11. С. 1072–1084.
- [21] Smith H.J., Davis D.D. Histological changes induced in Scotch pine needles by sulfur dioxide // Phytopathology, 1978, v. 68, pp. 1711–1716.
- [22] Тужилкина В.В., Плюснина С.Н. Структурно-функциональные изменения хвои сосны в условиях аэротехногенного загрязнения // Лесоведение, 2020. № 6. С. 537–547.
- [23] Федорков А.Л. Изменчивость признаков анатомического строения хвои сосны и ее устойчивость к техногенному и климатическому стрессу // Экология, 2002. № 1. С. 70–72.
- [24] Ковалева В.А., Виноградова Ю.А., Пристова Т.А., Федорков А.Л. Характеристика микрометричного комплекса в подстилке экспериментальных культур сосны скрученной (*Pinus contorta* Dougl.) // Принципы экологии, 2023. № 2. С. 67–77. DOI: [10.15393/j1.art.2023.13642](https://doi.org/10.15393/j1.art.2023.13642)
- [25] Пристова Т.А., Федорков А.Л. Видовой состав и фитомасса растений напочвенного покрова в экспериментальных культурах сосны скрученной в Республике Коми // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства, 2023. № 1. С. 40–53. DOI: [10.21178/2079-6080.2023.1.40](https://doi.org/10.21178/2079-6080.2023.1.40)
- [26] Эверт Р.Ф. Анатомия растений Эзау. Меристемы, клетки и ткани растений: строение, функции и развитие. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. 600 с.
- [27] Федорков А.Л. Ретроспективная оценка параметров сохранности хвои у сосны обыкновенной // Экология, 2002. № 6. С. 478–480.
- [28] Феклистов П.А., Бирюков С.Ю., Федяев А.Л. Сравнительные эколого-биологические особенности сосны скрученной и обыкновенной в северной подзоне европейской тайги. Архангельск: Изд-во Архангельского государственного технического университета, 2008. С. 116.
- [29] Демидова Н.А., Дуркина Т.М., Гоголева Л.Г., Васильева Н.Н. Древесные растения европейской флоры в коллекции дендрологического сада ФБУ «Севниилх» // Труды по интродукции и акклиматизации растений. Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук. Ижевск, 2021. С. 58–62.
- [30] Hetherington A.M., Woodward F.I. The role of stomata in sensing and driving environmental change // Nature, 2003, v. 424, pp. 901–908.
- [31] Феклистов П.А., Бирюков С.Ю. Транспирация хвои сосны скрученной и обыкновенной в условиях Архангельской области // Вестник Поморского университета. Серия. Естественные и точные науки, 2007. № 2. С. 86–90.
- [32] Cite taxon page as 'WFO: *Pinus contorta* Douglas ex Loudon, 2022. Available at: <http://www.worldfloraonline.org/taxon/wfo-0000481330#synonyms> (дата обращения 27 декабря 2022 г.).
- [33] Шпак С.И., Ламоткин С.А., Ламоткин А.И., Скаковский Е.Д., Гайдукевич О.А., Котов А.А. Изменчивость состава эфирных масел в роду *Pinus* // Химия и технология органических веществ, 2008. № 4. С. 292–296.
- [34] Хелдт Г.-В. Биохимия растений. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. 471 с.
- [35] Cavaleiro C., Pinto E., Goncalves M.J., Salgueiro L. Antifungal activity of Juniperus essential oils against dermatophyte, Aspergillus and Candida strains // J. Appl. Microbiol., 2006, v. 100, pp. 1333–1338.
- [36] 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. DOI: [10.21266/2079-4304.2023.245.55-70](https://doi.org/10.21266/2079-4304.2023.245.55-70)

Сведения об авторах

Плюснина Светлана Николаевна  — канд. биол. наук, науч. сотр. Института биологии Коми НЦ УрО РАН, pljusnina@ib.komisc.ru

Федорков Алексей Леонардович — д-р биол. наук, вед. науч. сотр. Института биологии Коми НЦ УрО РАН, fedorkov@ib.komisc.ru

Гуляев Роман Геннадьевич — ст. лаборант Института биологии Коми НЦ УрО РАН, gulyaev@ib.komisc.ru

Поступила в редакцию 12.01.2023.

Одобрено после рецензирования 14.04.2023.

Принята к публикации 28.11.2023.

NEEDLE STRUCTURE OF *PINUS CONTORTA* DOUGL. AND *PINUS SYLVESTRIS* L. IN EXPERIMENTAL CULTURES

S.N. Plyusnina , A.L. Fedorkov, R.G. Gulyaev

Institute of Biology of Komi Scientific Centre of the Ural branch of the Russian Academy of Sciences, 28, Kommunisticheskaya st., 167982, Syktyvkar, Russia

pljusnina@ib.komisc.ru

The paper presents data on the needle morphology and anatomy of lodgepole pine (*Pinus contorta* Dougl.) and Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) growing in experimental cultures in the middle taiga subzone of the Komi Republic. It was shown that lodgepole pine exceeds Scots pine by 28 % in needles length ($p < 0,001$), and by 15 % in needles cross-sectional area ($p < 0,001$). The number of stomata per 1 mm of needle length in lodgepole pine is 17 % less, and the number of resin canals in needles is 77 % less. Lodgepole pine is characterized by a multi-row hypodermis, thickening of the tangential and radial walls of endoderm cells, poorly developed sclerenchyma of the central cylinder, and a greater number of water-conducting xylem elements by 23 % ($p < 0,01$) than Scots pine. The radial dimensions of the mesophyll cells are larger, and the epidermis, hypodermis, endoderm and sieve cells of the phloem are smaller in lodgepole pine than in Scots pine ($p \leq 0,05$). The large needles cross-sectional area of lodgepole pine is provided by the large size of the mesophyll cells and the multi-row nature of the hypodermis. It is shown that the foliation rate of two-year-old shoots and the proportion of brachyblasts preserved on them are 61 % higher in lodgepole pine. Three-needle brachyblasts and very rarely four-needle brachyblasts are found on the shoots of *Pinus contorta* more often than on *Pinus sylvestris*. The large size and preservation of photosynthetic organs on the shoots of the introduced species relative to the native species contribute to high growth intensity, give an advantage in biomass accumulation, and indicate successful adaptation of lodgepole pine to the conditions of the middle taiga subzone.

Keywords: *Pinus contorta*, *Pinus sylvestris*, experimental cultures, needle, morphology, anatomy

Suggested citation: Plyusnina S.N., Fedorkov A.L., Gulyaev R.G. *Struktura khvoi sosny skruchennoy 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

References

- [1] Elays T.S. *Severoamerikanskije derev'ya: opredelitel'* [North American Trees: Key]. Novosibirsk: Tsentral'nyy sibirskiy botanicheskiy sad SO RAN, 2014, 959 p.
- [2] Kozubov G.M., Muratova E.N. *Sovremennye golosemennye (morfologo-sistematicheskiy obzor i kariologiya)* [Modern gymnosperms (morphological and systematic review and karyology)]. Leningrad: Nauka, 1986, 192 p.
- [3] Fedorkov A., Gutiy L. Performance of lodgepole pine and Scots pine in field trials located in north-west Russia. *Silva Fennica*, 2017, v. 51, no. 1, 10 p. Article id 1692. DOI: 10.14214/sf.1692
- [4] Feklistov P. A., Biryukov S. Yu., Fedyaev A. L. *Sravnitel'nye ekologo-biologicheskie osobennosti sosny skruchennoy i obyknovennoy v severnoy podzone evropeyskoy taygi* [Comparative ecological and biological features of lodgepole and Scots pine in the northern subzone of the European taiga]. Arkhangel'sk: Arkhangel'skiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet, 2008, 118 p.
- [5] Mordas' A.A., Raevskiy B.V. *Vskhozhest' semyan i rost sosny skruchennoy v Karelii* [Seed germination and tree growth in *Pinus contorta* plantations in Karelia]. *Lesovedenie* [Forestry], 1992, no. 1, pp. 89–94.
- [6] Fedorkov A. Variation in shoot elongation patterns in *Pinus contorta* and *Pinus sylvestris* in north-west Russia. *Scandinavian J. of Forest Research*, 2010, v. 25, no. 3, pp. 208–212. DOI: 10.1080/02827581.2010.491229
- [7] Structure and Composition of Subalpine Conifers in the Emerald Lake Watershed, Sequoia National Park, California. *Madroño*, 2018, v. 65, no. 2, pp. 80–88.

- [8] Owens J.N. The reproductive biology of lodgepole pine // Forest Genetics Council of British Columbia. Canada, 2006, 66 p. Available at: <http://www.fgcouncil.bc.ca/ExtNote7-Final-web.pdf>. (accessed 26.12.2022).
- [9] Jacobson S., Hannerz M. Natural regeneration of lodgepole pine in boreal Sweden. *Biol Invasions*, 2020, v. 22, pp. 2461–2471. DOI: 10.1007/s10530-020-02262-0
- [10] Raevskiy B.V. *Khod rosta smeshannykh kul'tur sosny skruchennoy i sosny obyknovennoy v yuzhnoy Karelii* [Growth and development of Lodgepole Pine and Scotch Pine provenances in mixed plantings in South Karelia]. *Izvestiya Komi nauchnogo tsentra UrO RAN* [Bulletin of the Komi Scientific Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences], 2010, no. 1 (1). pp. 31–38.
- [11] Demidova N.A., Durkina T.M., Gogoleva L.G., Demidenko S.A., Bykov Yu.S., Paramonov A.A. *Rost i razvitie sosny skruchennoy (Pinus contorta Loud. var. latifolia S. Wats) v usloviyakh severnoy taygi* [Growth and development of a lodgepole pine (*Pinus contorta* Loud. var. *latifolia* S. Wats) in a northern boreal forest]. *Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo khozyaystva* [Papers of the St. Petersburg Forestry Research Institute], 2016, no. 2, pp. 45–59.
- [12] Demidova N.A., Durkina T.M., Gogoleva L.G., Bykov Yu.S., Paramonov A.A. *Rost sosny skruchennoy (Pinus contorta Loud. var. latifolia S. Wats.) v Storozhhevskom lesnichestve Respubliki Komi* [Lodgepole Pine (*Pinus contorta* Loud. var. *latifolia* S. Wats.) growth in the Republic of Komi]. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya* [Forest management information], 2017, no. 1, pp. 24–33.
- [13] Babich N.A., Andronova M.M. *Sosna skruchennaya — perspektivnyy introdutsent dlya ozeleneniya malyykh severnykh gorodov* [Lodgepole Pine — a Perspective Introduced Species for Greening of Northern Smaller Cities]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2014, no. 6 (342), pp. 155–160.
- [14] Elfving B., Ericsson T., Rosvall O. The introduction of lodgepole pine for wood production in Sweden — a review. *Forest Ecology and Management*, 2001, v. 141, pp. 15–29. DOI: [org/10.1016/S0378-1127\(00\)00485-0](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00485-0)
- [15] Backlund I., Bergsten U. Biomass Production of Dense Direct-Seeded Lodgepole Pine (*Pinus contorta*) at Short Rotation Periods. *Silva Fennica*, 2012, no. 46(4), pp. 609–623.
- [16] Kosichenko N. E., Kutsevalov M. A. *Osobennosti anatomicheskoy struktury khvoi i drevesiny sosny Myurreya* [Features of the anatomical structure of the needles and wood of Murray pine] *Genetika, selektsiya, semenovodstvo i introduktsiya lesnykh porod: sb. nauch. tr. TsNIILGiS* [Genetics, selection, seed production and introduction of forest species. Collected papers]. Voronezh: TsNIILGiS, 1977, v. 4, pp. 87–89.
- [17] Nesterovich N.D., Deryugina T.F. *Strukturnye osobennosti list'ev khvoynyykh* [Structural features of coniferous leaves]. Minsk: Nauka i tekhnika, 1986, 43 p.
- [18] Tsel'niker Yu. L., Malkina I.S., Kovalev A.G., Chmora S.N., Mamaev V.V., Molchanov A.G. *Rost i gazoobmen SO₂ u lesnykh derev'ev*. Moscow: Nauka, 1993, 256 p.
- [19] Liesche J., Martens H.J., Schulz A. Symplasmic transport and phloem loading in gymnosperm leaves. *Protoplasma*, 2011, v. 248, pp. 181–190.
- [20] Plyusnina S.N., Tuzhilkina V.V. *Strukturno-funktsional'naya kharakteristika fotosinteticheskogo apparata podrosta Pinus sylvestris (Pinaceae) v podzone sredney taygi evropeyskogo Severo-Vostoka* [Structural and functional characteristics of the photosynthetic apparatus of *Pinus sylvestris* (Pinaceae) undergrowth in the middle taiga subzone of the European Northeast]. *Botanicheskiy zhurnal* [Botanical journal], 2021, v. 106, 11, pp. 1072–1084.
- [21] Smith H.J., Davis D.D. Histological changes induced in Scotch pine needles by sulfur dioxide. *Phytopathology*, 1978, v. 68, pp. 1711–1716.
- [22] Tuzhilkina V.V., Plyusnina S.N. *Strukturno-funktsional'nye izmeneniya khvoi sosny v usloviyakh aerotekhnogennoy zagryazneniya* [Structural and functional alterations of pine needles under conditions of aerotechnogenic pollution]. *Lesovedenie* [Forest science], 2020, no. 6, pp. 537–547.
- [23] Fedorkov A.L. *Izmenchivost' priznakov anatomicheskogo stroeniya khvoi sosny i ee ustoychivost' k tekhnogenomu i klimaticheskomu stressu* [Variability of signs of the anatomical structure of pine needles and its resistance to technogenic and climatic stress]. *Ekologiya* [Ecology], 2002, no. 1, pp. 70–72.
- [24] Kovaleva V.A., Vinogradova Yu.A., Pristova T.A., Fedorkov A.L. *Kharakteristika mikromitsetnogo kompleksa v podstilke eksperimental'nykh kul'tur sosny skruchennoy (Pinus contorta Dougl.)* [Characterisation of the micro-mycete complex in the litter of experimental cultures of lodgepole pine (*Pinus contorta* Dougl.)]. *Printsipy ekologii* [Principles of ecology], 2023, no. 2, pp. 67–77. DOI: 10.15393/j1.art.2023.13642
- [25] Pristova T.A., Fedorkov A.L. *Vidovoy sostav i fitomassa rasteniy napochvennogo pokrova v eksperimental'nykh kul'turakh sosny skruchennoy v Respublike Komi* [Species composition and phytomass of ground vegetation in experimental plantations of Lodgepole Pine in the Komi Republic]. *Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo khozyaystva* [Papers of the St. Petersburg Forestry Research Institute], 2023, no. 1, pp. 40–53. DOI: 10.21178/2079-6080.2023.1.40
- [26] Evert R.F. *Anatomiya rasteniy Ezau. Meristemy, kletki i tkani rasteniy: stroenie, funktsii i razvitie* [Esau's plant anatomy. Meristems, cells and tissues of the plant body: their structure, functions and development]. Moscow: Binom. Laboratoriya znaniy, 2015, 600 p.
- [27] Fedorkov A.L. *Retrospektivnaya otsenka parametrov sokhrannosti khvoi u sosny obyknovennoy* [Retrospective assessment of the parameters of preservation of needles in Scots pine]. *Ekologiya* [Ecology], 2002, no. 6, pp. 478–480.
- [28] Feklistov P.A., Biryukov S.Yu., Fedyaev A.L. *Sravnitel'nye ekologo-biologicheskie osobennosti sosny skruchennoy i obyknovennoy v severnoy podzone evropeyskoy taygi* [Comparative ecological and biological features of lodgepole and Scots pine in the northern subzone of the European taiga]. Arkhangelsk: Arkhangelsk State Technical University, 2008, p. 116.
- [29] Demidova N.A., Durkina T.M., Gogoleva L.G., Vasil'eva N.N. *Drevesnye rasteniya evropeyskoy flory v kolleksii dendrologicheskogo sada FBU «Sevniilkh»* [Woody plants of European flora in the collection of the dendrological garden of the Federal Budgetary Institution «Sevniilkh»]. *Trudy po introduktsii i akklimatizatsii rasteniy. Udmurtskiy federal'nyy issledovatel'skiy tsentr Ural'skogo otdeleniya Rossiyskoy akademii nauk* [Proceedings on the introduction and acclimatization of plants. Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Izhevsk, 2021, pp. 58–62.

- [30] Hetherington A.M., Woodward F.I. The role of stomata in sensing and driving environmental change. *Nature*, 2003, v. 424, pp. 901–908.
- [31] Feklistov P.A., Biryukov S.Yu. *Transpiratsiya khvoi sosny skruchennoy i obyknovennoy v usloviyakh Arkhangel'skoy oblasti* [Transpiration of needles of lodgepole and Scotch pine in the conditions of the Arkhangelsk region]. *Vestnik Pomorskogo universiteta. Seriya: Estestvennye i tochnye nauki* [Bulletin of the Pomeranian University. Series: Natural and exact sciences], 2007, no. 2, pp. 86–90.
- [32] Cite taxon page as 'WFO: *Pinus contorta* Douglas ex Loudon, 2022. Available at: <http://www.worldfloraonline.org/taxon/wfo-0000481330#synonyms> (accessed 27.12.2022).
- [33] Shpak S.I., Lamotkin S.A., Lamotkin A.I., Skakovskiy E.D., Gaydukevich O.A., Kotov A.A. *Izmenchivost' sostava efirnykh masel v rodu Pinus* [Variability in the composition of essential oils in the family *Pinus*]. *Khimiya i tekhnologiya organicheskikh veshchestv* [Chemistry and technology of organic substances], 2008, no. 4, pp. 292–296.
- [34] Kheldt G.-V. *Biokhimiya rasteniy* [Plant biochemistry]. Moscow: BINOM, 2011, 471 p.
- [35] Cavaleiro C., Pinto E., Goncalves M.J., Salgueiro L. Antifungal activity of Juniperus essential oils against dermatophyte, Aspergillus and Candida strains. *J. Appl. Microbiol.*, 2006, v. 100, pp. 1333–1338.
- [36] Pristova T.A., Fedorkov A.L. *Elementnyy sostav Pinus contorta Dougl. i Pinus sylvestris L. v eksperimental'nykh kul'turakh Syktyvkar'skogo 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. DOI: 10.21266/2079-4304.2023.245.55-70

The work was carried out within the framework of the state assignment of the Institute of Biology of the Komi Scientific Centre of the Ural RAS Department «Zonal regularities of dynamics of structure and productivity of primary and anthropogenically modified phytocenoses of forest and bog ecosystems of the European North-East of Russia» (122040100031-8).

Authors' information

Plyusnina Svetlana Nikolaevna✉ — Cand. Sci. (Biology), Researcher of the Institute of Biology of Komi Scientific Centre of the Ural branch of the Russian Academy of Sciences, pljusnina@ib.komisc.ru
Fedorkov Aleksey Leonardovich — Dr. Sci. (Biology), Leading Researcher of the Institute of Biology of Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, fedorkov@ib.komisc.ru
Gulyaev Roman Gennad'evich — Senior laboratory assistant of the Institute of Biology of Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, gulyaev@ib.komisc.ru

Received 12.01.2023.

Approved after review 14.04.2023.

Accepted for publication 28.11.2023.

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

ДОСТОВЕРНОСТЬ МЕТОДОВ ЭКСПРЕСС-ДИАГНОСТИКИ КАЧЕСТВА ПЫЛЬЦЫ ХВОЙНЫХ РАСТЕНИЙ

М.В. Сурсо

ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова Уральского отделения Российской академии наук», Россия, 163020, г. Архангельск, пр. Никольский, д. 20

surso@fciarctic.ru

Приведены результаты определения жизнеспособности пыльцы хвойных видов растений косвенными методами. Предложенные методологические подходы позволили исключить возможные ошибочные оценки при интерпретации результатов тестирования жизнеспособности пыльцы. Установлено, что флуоресцентные методы чаще всего завышают фактическую жизнеспособность пыльцы, определенную прямыми методами. Большинство из использованных в опытах флуорохромов малоприспособны для оценки жизнеспособности пыльцы. Визуальная оценка общей и специфичной ферментативной активности пыльцы показала результаты, близкие к ее фактической жизнеспособности. Методы, в основе которых лежит выявление ферментативной активности могут быть рекомендованы для экспресс-диагностики качества пыльцы хвойных растений.

Ключевые слова: пыльца, жизнеспособность, хвойные, флуоресценция, ферменты

Ссылка для цитирования: Сурсо М.В. Достоверность методов экспресс-диагностики качества пыльцы хвойных растений // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2024. Т. 28. № 1. С. 56–67.
DOI: 10.18698/2542-1468-2024-1-56-67

Жизнеспособность пыльцы определяется ее способностью к прорастанию в пыльцевые трубки нормальной длины и, преимущественно, выражается долей проросших *in vitro* пыльцевых зерен. Проращивание пыльцы на искусственных средах — прямой и наиболее надежный метод оценки ее качества, имеющий, однако ряд недостатков: субстрат может зарастать мицелием грибов, спорами которых часто заражена пыльца; возникают так называемые «популяционные эффекты» [1]; равномерность высева во многом предопределяется навыками исследователя; требуется проведение продолжительных наблюдений.

Цель работы

Цель работы — оценка достоверности результатов определения жизнеспособности пыльцы хвойных видов растений косвенными методами.

Косвенные (непрямые) методы определения качества пыльцы приобрели популярность вследствие простоты применения и быстрого получения конечных результатов. Однако они отражают не фактическую жизнеспособность пыльцы, а лишь ее доброкачественность. Связь между доброкачественностью (Q), жизнеспособностью (V) и фертильностью (F) пыльцы можно выразить простым соотношением: $Q \geq V \geq F$.

Наибольшее распространение получили косвенные методы, основанные на выявлении в пыльце активности ферментов: пероксидазы [2, 3],

сукцинатдегидрогеназы [4], галактозидазы [5] и др. Многие авторы, использовавшие эти методы в своих исследованиях, отмечали несколько завышенные, по сравнению с традиционным проращиванием, результаты [6, 7], другие считают их не вполне надежными и не имеющими положительной корреляции с тестами на проращивание *in vitro* [8, 9]. Методы, основанные на окрашивании пыльцы традиционными гистологическими красителями [10–13], также чаще завышают результаты и лишь дают представление об особенностях морфологической структуры пыльцевых зерен. Иногда косвенные методы остаются единственно возможными при определении качества пыльцы, например, лиственницы (*Larix sibirica* Ledeb.), проращивание которой затруднено из-за длительного латентного периода [14].

Широкое распространение приобрели люминесцентные методы определения качества пыльцы растений. Наиболее популярными флуоресцентными красителями на настоящее время остаются акридиновый оранжевый [15], флуоресцеин диацетат [16, 17] и его модификации и некоторые другие. С развитием техники флуоресцентной микроскопии этот перечень постоянно пополняется.

Для оценки качества пыльцы, наряду с визуальными можно использовать методы, основанные на корреляции физико-химических свойств протоплазмы пыльцы с ее фактической жизнеспособностью [18].

Основную проблему при интерпретации результатов оценки качества пыльцы косвенными методами представляет отсутствие четких критериев селективности красителей к пыльце с разной жизнеспособностью. Использование в качестве контроля образцов пыльцы, некротированной термическим шоком или химическим воздействием не вполне корректно, поскольку такие воздействия могут вызывать деформацию внутренних структур пыльцевого зерна и дезинтеграцию высокомолекулярных соединений.

В настоящей работе в качестве контроля селективности красителей была использована пыльца различных видов хвойных растений, которая хранилась в течение длительного (от 26 до 33 лет) времени при температуре +1...+2 °С в эксикаторах над безводным хлоридом кальция. При таких условиях пыльца, например, сосны может сохранять жизнеспособность в течение 10 лет и более (табл. 1). Через 15 лет пыльца полностью утрачивает способность к прорастанию, хотя все ее морфологические структуры сохраняются.

Т а б л и ц а 1

Результаты проращивания пыльцы сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) после разных сроков хранения

Results of common pine (*Pinus sylvestris* L.) pollen germination after different storage periods

Продолжительность хранения, лет	Проращивание на минеральной среде Нигаарда		Проращивание на агаровом субстрате (концентрация сахарозы 10 %)	
	M ± mM	CV, %	M ± mM	CV, %
0	66,4 ± 5,4	12,6	91,5 ± 2,5	5,4
2	14,0 ± 2,5	21,4	59,1 ± 6,3	18,5
3	0	—	36,9 ± 1,8	6,5
4	0	—	28,6 ± 7,0	34,5
6	0	—	20,2 ± 0,9	8,9
10	0	—	13,6 ± 1,4	7,2
15	0	—	0	—

Такой методологический подход позволил исключить возможные ошибочные оценки при интерпретации результатов тестирования жизнеспособности пыльцы.

Материалы и методы

Проращивание пыльцы хвойных видов растений проводили в чашках Петри на среде, содержащей 1%-й агар и 5- или 10%-ю сахарозу в термостате при температуре +26,5 °С. Продолжительность проращивания свежесобранной пыльцы ели составила 72 ч, сосны — 96, можжевельника — 168 ч. Пыльца сосны и ели считалась проросшей, если длина пыльцевой

трубки более чем в 2 раза превышала высоту тела зерна. Жизнеспособность пыльцы можжевельника определялась как сумма половины количества пыльцевых зерен, сформировавших внутри гидрофильной капсулы двухклеточный микрогаметофит тубелькообразной формы, и всего количества пыльцевых зерен, сформировавших пыльцевые трубки, кончики которых вышли из гидрофильной капсулы наружу. Сроки проращивания старой пыльцы не регламентировались и определялись темпами развития микрофлоры на поверхности среды. Проращивание завершали после существенного зарастания среды мицелием при отсутствии видимых признаков жизнеспособности пыльцы.

Растворы красителей для флуоресцентной микроскопии готовили с учетом рекомендаций компаний-производителей и литературных данных. Окрашенные препараты пыльцы просматривали и фотографировали на люминесцентном микроскопе Altam Lum 1 Led с соответствующими светофильтрами.

Принятые обозначения:

- DAPI — 4',6-диамидино-2-фенилиндол;
- FDA — флуоресцеин диацетат;
- EthD-III — этидиум гомодимер III;
- Hoechst 33342 — тригидрат тригидрохлорида 2'-[4-этоксифенил]-5-[4-метил-1-пиперазинил]-2,5'-би-1Н-бензимидазола;
- ДМСО — диметилсульфоксид;
- МТТ — 3-(4, 5-диметилтиазолил 1-2) 2, 5-дифенил-тетразолий;
- ADH — алкогольдегидрогеназа (EC 1.1.1.1.);
- GDH — глутаматдегидрогеназа (EC 1.4.1.2.);
- MDH — малатдегидрогеназа (EC 1.1.1.37.);
- SkDH — шикиматдегидрогеназа (EC 1.1.1.25.);
- АО — акридиновый оранжевый.

Стоковый 14,3 мМ раствор DAPI готовили растворением 5 мг этого красителя в 1 мл диметилформамида. Для приготовления промежуточного 300 мкМ раствора DAPI к 2,1 мкл стокового раствора добавляли 100 мкл фосфатного буфера, рН 7,4. Рабочий раствор 300 нМ DAPI готовили разбавлением промежуточного раствора в фосфатном буфере в пропорции 1:1000. Окрашивание пыльцы проводили в рабочем растворе в течение нескольких минут в темноте при комнатной температуре.

Стоковый раствор флуоресцеин диацетата (5 мг FDA в 1 мл ацетона) хранили при температуре -20 °С. Перед использованием стоковый раствор FDA разбавляли деионизированной дистиллированной водой в соотношении 1:1000. Окрашивание пыльцы проводили на вращающемся шейкере в темноте при комнатной температуре в течение 10...20 минут.

Стоковый раствор Hoeschst 33342 готовили растворением 10 мг красителя в 1 мл ДМСО. Для приготовления рабочего раствора стоковый раствор Hoeschst 33342 разбавляли фосфатным буфером, рН 7,4 в соотношении 1:10 000. Окрашивание пыльцы производили в рабочем растворе красителя в течение 20...30 мин в темноте при температуре 37 °С. Перед просмотром пыльцу трижды промывали в фосфатном буфере, нагретом до 37 °С.

Стоковый раствор акридинового оранжевого представлял 0,1%-й водный раствор красителя. Перед использованием его разбавляли дистиллированной водой в соотношении 1:10 000. Для окрашивания пыльцы к объему водной суспензии пыльцы добавляли равный объем рабочего раствора АО. Окрашивание проводили в темноте в течение 10...20 мин при комнатной температуре на вращающемся шейкере.

Рабочий раствор кальцеина АМ готовили растворением 10 мкл заводского препарата кальцеина АМ (Biotium), нагретого до комнатной температуры, в 10 мл фосфатного буфера. Окрашивание пыльцы проводили в течение 30...40 мин в темноте при температуре 37 °С. Перед просмотром пыльцу трижды промывали в фосфатном буфере, нагретом до 37 °С.

Для оценки числа апоптотических и некротических пыльцевых зерен использовали многокомпонентный препарат Apoptotic, Necrotic and Healthy Cells (Biotium). Однократный связывающий буфер готовили добавлением к одному объему пятикратного связывающего буфера аннексина V четырех объемов дистиллированной воды. В исследуемый образец пыльцы добавляли 100 мкл связывающего буфера, 5 мкл аннексина V CF ® 488А и 5 мкл EthD-III. Краситель Hoeschst 33342 в состав препарата не вводили. Суспензионную культуру инкубировали в течение 15...30 мин в темноте при комнатной температуре на вращающемся шейкере.

Для выявления активности ферментов: ADH, GDH, MDH и SkDH в пыльце готовили инкубирующие растворы по протоколам для изоферментного анализа [19]. Навески реактивов при этом увеличивали вдвое. К водной суспензии пыльцы добавляли равный объем инкубирующего раствора. Полученную смесь инкубировали в течение 2–3 ч в темноте на вращающемся шейкере при температуре 35 °С. Для выявления общей активности дегидрогеназ пыльцу инкубировали в таких же условиях в течение 1–2 ч в 5%-м водном растворе сахарозы, содержащем тетразолиевый краситель МТТ в концентрации 0,2 мг/мл. Затем каплю суспензии, содержащей небольшое количество пыльцы, переносили на предметное стекло и высушивали в термостате при температуре 35 °С.

На высушенный образец наносили каплю 50%-го глицерола, пыльцу равномерно распределяли по поверхности предметного стекла и накрывали покровным стеклом [20–22]. По нашим наблюдениям, процедура высушивания препаратов при окрашивании пыльцы красителем МТТ является излишней. К тому же при этом часто происходит деформация внутренних структур пыльцевых зерен, поэтому в дальнейшем ограничились инкубированием пыльцы в растворе красителя. Препараты, окрашенные на ферменты, просматривали и фотографировали на прямом лабораторном микроскопе Axio Scope A1 (Zeiss).

Результаты и обсуждение

Примеры флуоресценции образцов свежесобранной и старой пыльцы можжевельника обыкновенного (*Juniperus communis* L.), ели (*Picea abies* L. (Karst.) x *P. obovata* Ledeb.) и сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), окрашенных флуорохромами, приведены в табл. 2–4.

Окрашивание пыльцы флуоресцеин диацетатом широко распространенная процедура для оценки качества пыльцы [23–31]. Метод основан на способности FDA проникать сквозь мембраны внутрь живых клеток и в его преобразовании во флуоресцирующие производные [32].

Доброкачественная свежесобранная пыльца (q_2) сосны, ели и можжевельника имела яркую флуоресценцию всего тела зерна или его центральной части. В сомнительных случаях (q_1) слабая флуоресценция наблюдалась в центральной части тела зерна, в месте локализации вегетативного ядра (у видов Pinaceae) или ядра микроспоры (у можжевельника). Полное отсутствие флуоресценции свидетельствовало о явно некачественной пыльце. Доброкачественность пыльцы Q в каждом образце определяли как $\Sigma (0,5q_1 + q_2)$ [31]. В большинстве случаев результаты проращивания и окрашивания свежесобранной пыльцы красителем FDA оказались весьма близкими (табл. 5).

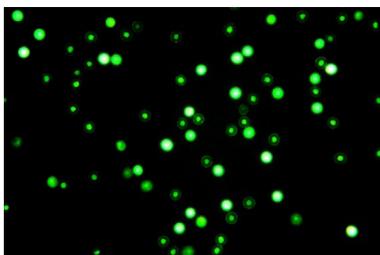
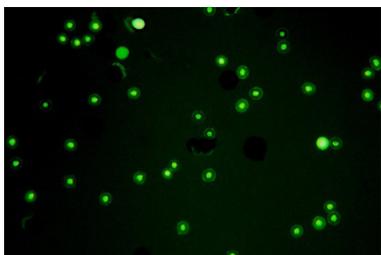
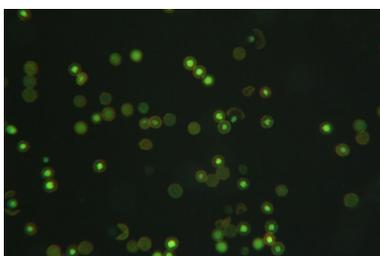
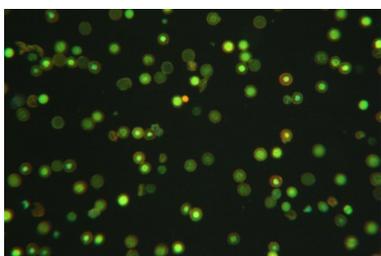
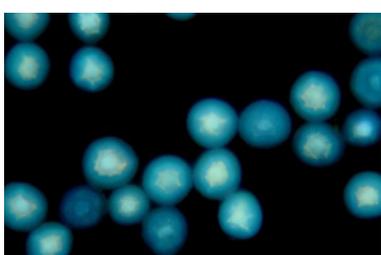
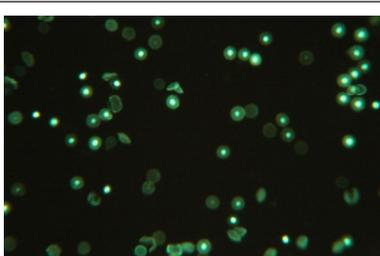
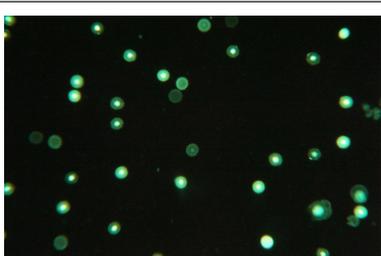
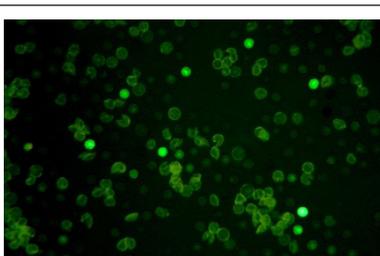
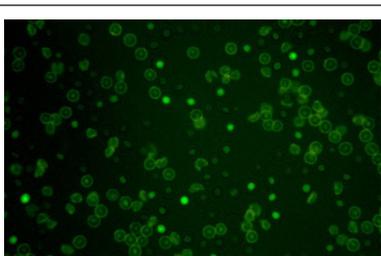
Окрашивание красителем FDA старой (нежизнеспособной) пыльцы показало, что у небольшого числа пыльцевых зерен некоторых видов хвойных растений способность к флуоресценции сохранилась.

Другой флуорохром, который часто используется для оценки качества пыльцы — акридиновый оранжевый, избирательно реагирующий с ДНК и РНК клетки. В концентрациях, необходимых для возбуждения люминесценции, АО обладает минимальной токсичностью, что делает его почти идеальным витальным красителем. По наблюдениям Г.М. Козубова [15], при окрашивании пыльцы сосны акридиновым оранжевым в жизнеспособных пыльцевых зернах наблюдалась

Таблица 2

Характер флуоресценции свежесобранной и старой пыльцы можжевельника обыкновенного (*Juniperus communis* L.)

Fluorescence character of freshly collected and old pollen of ground cedar (*Juniperus communis* L.)

Краситель	Свежесобранная жизнеспособная пыльца	Старая нежизнеспособная пыльца
FDA		
Акридиновый оранжевый		
DAPI		
Hoechst 33342		
Кальцеин АМ		

ярко-зеленая флуоресценция ядер и оранжевая — цитоплазмы. У пыльцевых зерен с пониженной жизнеспособностью наблюдалась однотонная зеленовато-желтая флуоресценция ядер и цитоплазмы. Из табл. 2–5 следует, что с годами спо-

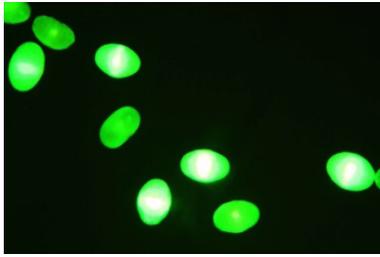
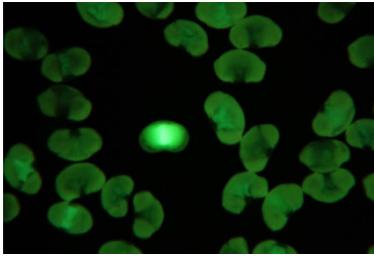
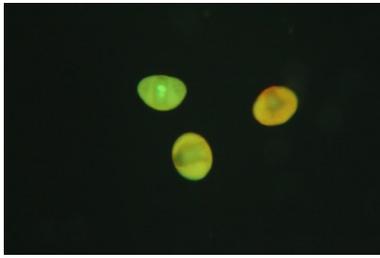
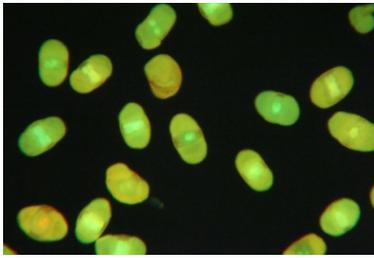
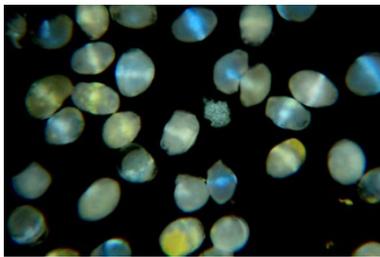
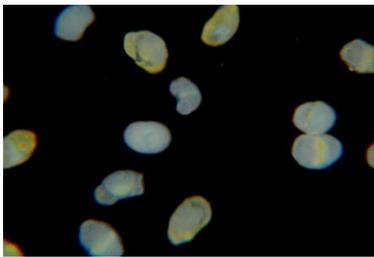
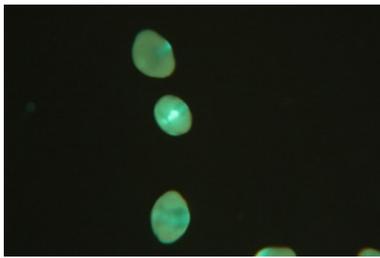
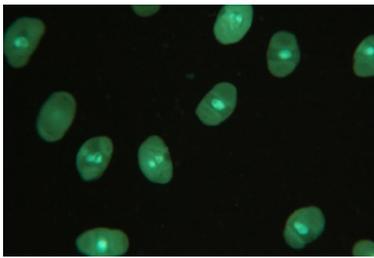
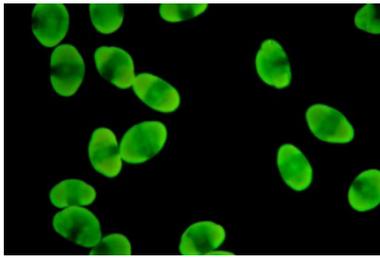
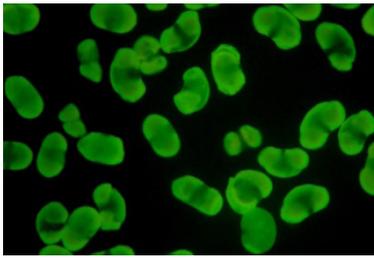
собность к флуоресценции структур пыльцевых зерен, окрашенных АО, не снижается и никак не связана с жизнеспособностью пыльцы.

Одним из наиболее популярных ядерных флуоресцентных красителей в настоящее время

Т а б л и ц а 3

**Характер флуоресценции свежесобранной и старой пыльцы
ели (*Picea abies* L. (Karst.) x *P. obovata* Ledeb.)**

**Fluorescence character of freshly collected and old pollen of spruce
(*Picea abies* L. (Karst.) x *P. obovata* Ledeb.)**

Краситель	Свежесобранная жизнеспособная пыльца	Старая нежизнеспособная пыльца
FDA		
Акридиновый оранжевый		
DAPI		
Hoechst 33342		
Кальцеин AM		

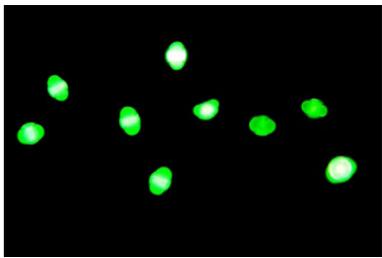
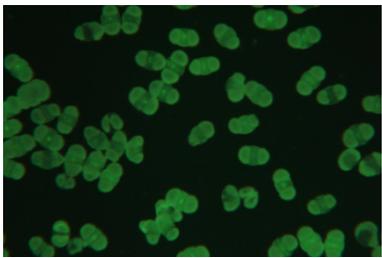
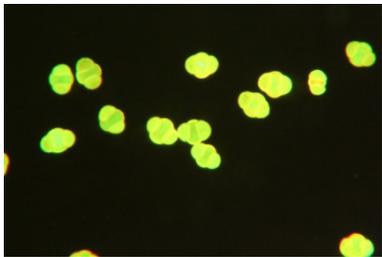
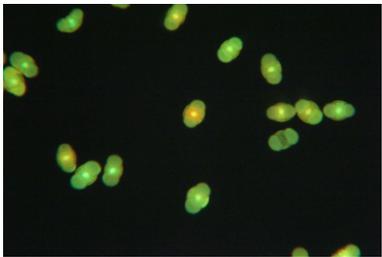
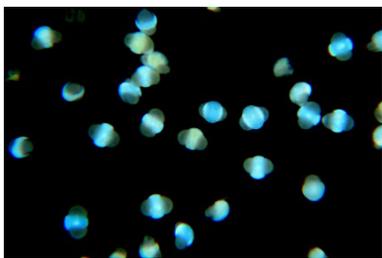
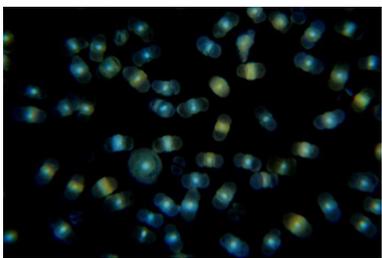
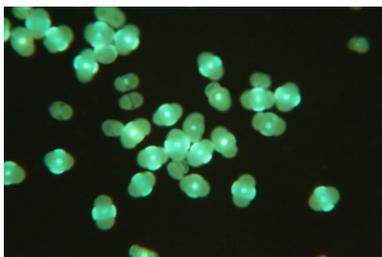
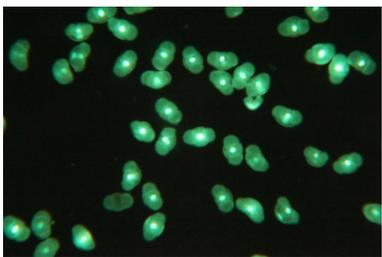
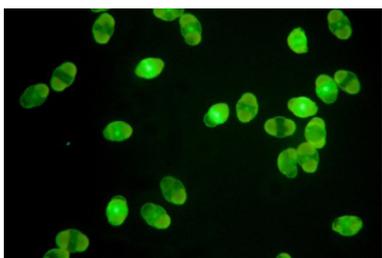
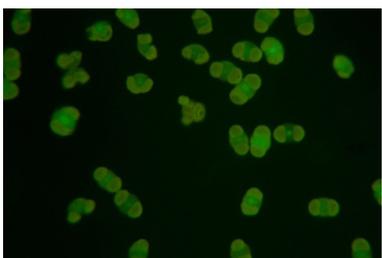
является DAPI. При связывании с ДНК он излучает синюю флуоресценцию [33]. У свежесобранной пыльцы, окрашенной DAPI, наблюдается яркая синяя флуоресценция ядер и цитоплазмы (см. табл. 2–4). Показатели жизнеспособности

свежесобранной пыльцы, полученные путем проращивания и методом окрашивания DAPI довольно близки (см. табл. 5). При окрашивании старой нежизнеспособной пыльцы выявились неоднородные результаты. Пыльцевые зерна

Таблица 4

Характер флуоресценции свежесобранной и старой пыльцы сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.)

Fluorescence character of freshly collected and old pollen of common pine сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.)

Краситель	Свежесобранная жизнеспособная пыльца	Старая нежизнеспособная пыльца
FDA		
Акридиновый оранжевый		
DAPI		
Hoechst 33342		
Кальцеин AM		

сосны обыкновенной и близкой к ней горной сосны сохранили яркую флуоресценцию ядер, тогда как в пыльце ели, пихты, можжевельника, сосен Банка и погребальной ядерная флуоресценция не проявлялась. В старой пыльце можжевельника

проявлялись некрозы ядер микроспор при сохранении флуоресценции цитоплазмы (см. табл. 2).

Другим популярным ядерным красителем является Hoechst 33342, который, связываясь с ДНК, при возбуждении ультрафиолетовым

Результаты окрашивания пыльцы хвойных видов растений флуорохромами

Results of pollen staining of coniferous plant species with fluorochromes

Вид	Продолжительность хранения пыльцы, лет	Жизнеспособность фактическая, %	Тест на доброкачественность, %				
			Ноеchst 33342	Акридиновый оранжевый	Кальцеин АМ	FDA	DAPI
<i>Picea abies</i> x <i>P. obovata</i>	0	62,5 ± 9,8	43,4 ± 8,8	37,7 ± 12,0	40,4 ± 14,4	70,2 ± 12,9	61,2 ± 10,1
<i>Pinus sylvestris</i>	0	92,1 ± 2,2	95,5 ± 3,4	64,4 ± 14,4	77,6 ± 12,2	98,0 ± 1,8	90,8 ± 4,4
<i>Juniperus communis</i>	0	66,8 ± 7,7	87,3 ± 7,4	43,8 ± 13,0	23,3 ± 7,8	62,5 ± 14,4	59,9 ± 8,0
<i>Picea abies</i> x <i>P. obovata</i>	30	0	84,4 ± 9,5	56,4 ± 11,9	0	< 0,1	0
<i>Picea obovata</i>	33	0	78,7 ± 11,3	55,5 ± 10,5	0	0	0
<i>Abies sibirica</i>	33	0	23,0 ± 7,8	85,4 ± 11,7	0	0	0
<i>Pinus sylvestris</i>	26	0	93,3 ± 5,4	69,6 ± 13,4	0	0	75,7 ± 11,1
<i>Pinus banksiana</i>	32	0	97,4 ± 2,2	65,4 ± 18,7	33,0 ± 9,4	< 0,1	35,6 ± 7,7
<i>Pinus mugo</i>	26	0	95,5 ± 3,4	75,5 ± 15,5	73,1 ± 15,5	0,6 ± 0,2	88,4 ± 10,4
<i>Pinus</i> x <i>funnebris</i>	26	0	87,4 ± 6,0	43,3 ± 16,4	67,7 ± 17,6	1,1 ± 0,4	0
<i>Pinus sibirica</i>	26	0	67,1 ± 8,9	94,4 ± 2,5	20,5 ± 5,5	0	0
<i>Juniperus communis</i>	26	0	59,5 ± 6,6	44,4 ± 9,3	18,7 ± 6,0	5,5 ± 1,5	0,5 ± 0,2

светом излучает синюю флуоресценцию. Результаты окрашивания свежесобранной и старой пыльцы этим красителем не коррелируют с жизнеспособностью пыльцы, определенной путем проращивания (см. табл. 5). Во всех случаях наблюдался высокий уровень ядерной флуоресценции, что связано с сохранностью ДНК.

Широко используемым маркером для исследования целостности клеточных мембран и количественного определения живых клеток является кальцеин АМ. Как и АО, он не токсичен и в малых концентрациях является идеальным витальным красителем [34, 35]. Результаты, полученные при окрашивании пыльцы этим красителем, неоднозначны (см. табл. 2–5). Так, в старой пыльце ели, пихты и сосны обыкновенной флуоресценция отсутствовала, тогда как в старой пыльце других видов уровень флуоресценции все еще оставался довольно высоким. Корреляция между жизнеспособностью свежесобранной пыльцы, определенной путем проращивания и методом окрашивания кальцеином АМ низкая или средняя.

Гибель клеток происходит в результате двух основных взаимосвязанных процессов: апоптоза и некроза. Апоптоз — это активная, генетически регулируемая стадия дезинтеграции клетки. Чаще всего апоптоз предшествует некрозу, приводящему к разрушению клеточных мембран и органелл клетки. Для количественного опреде-

ления апоптотических и некротических пыльцевых зерен в старой пыльце использовали входящие в набор красителей Apoptotic, Necrotic and Healthy Cells (Biotium) аннексин V и EthD-III. Человеческий антикоагулянт аннексин V представляет собой кальций — зависимый фосфолипид — связывающий белок массой 35 кДа, окрашивающий апоптотические клетки в зеленый цвет (рис. 1, в).

Гомодимер этидия III (EthD-III) представляет собой высоко положительно заряженный зонд нуклеиновой кислоты, который непроницаем для живых клеток и ранних апоптотических клеток, но окрашивает некротические клетки и поздние апоптотические клетки красной флуоресценцией (см. рис. 1, а). Выполненное на примере старой (нежизнеспособной) пыльцы можжевельника исследование показало приемлемые результаты при изучении апоптозов и некрозов пыльцевых зерен.

При выявлении в пыльце активности дегидрогеназ (общей или специфичной) с использованием в качестве красителя МТТ цитоплазма и ядра потенциально жизнеспособных пыльцевых зерен окрашиваются в сине-фиолетовый цвет. Нежизнеспособная пыльца остается неокрашенной (рис. 2).

Полученные результаты довольно близки к фактической жизнеспособности пыльцы (табл. 6).

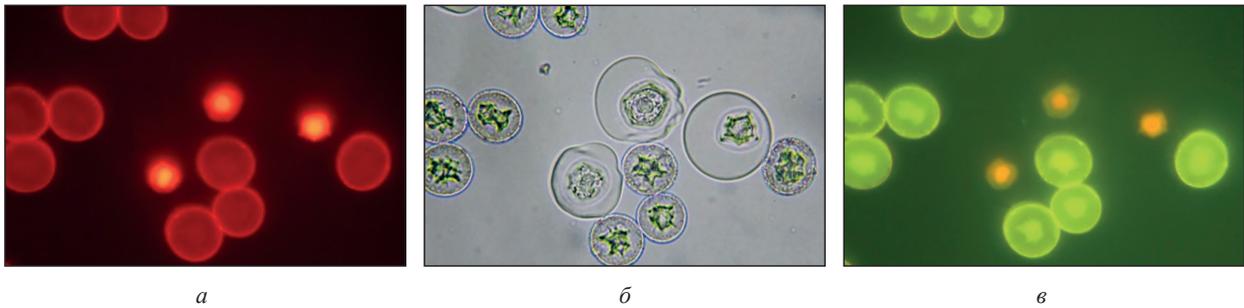


Рис. 1. Апоптоз (в) и некроз (а) старой пыльцы можжевельника (окрашивание аннексином V и EthD-III): б — проходящий белый свет; а, в — флуоресценция (а — светофильтр 460...550 нм, в — светофильтр 330...400 нм)

Fig. 1. Apoptosis (в) and necrosis (а) of old juniper pollen (staining with annexin V and EthD-III): б — transmitted white light; а, в — fluorescence (а — light filter 460...550 nm, в — light filter 330...400 nm)

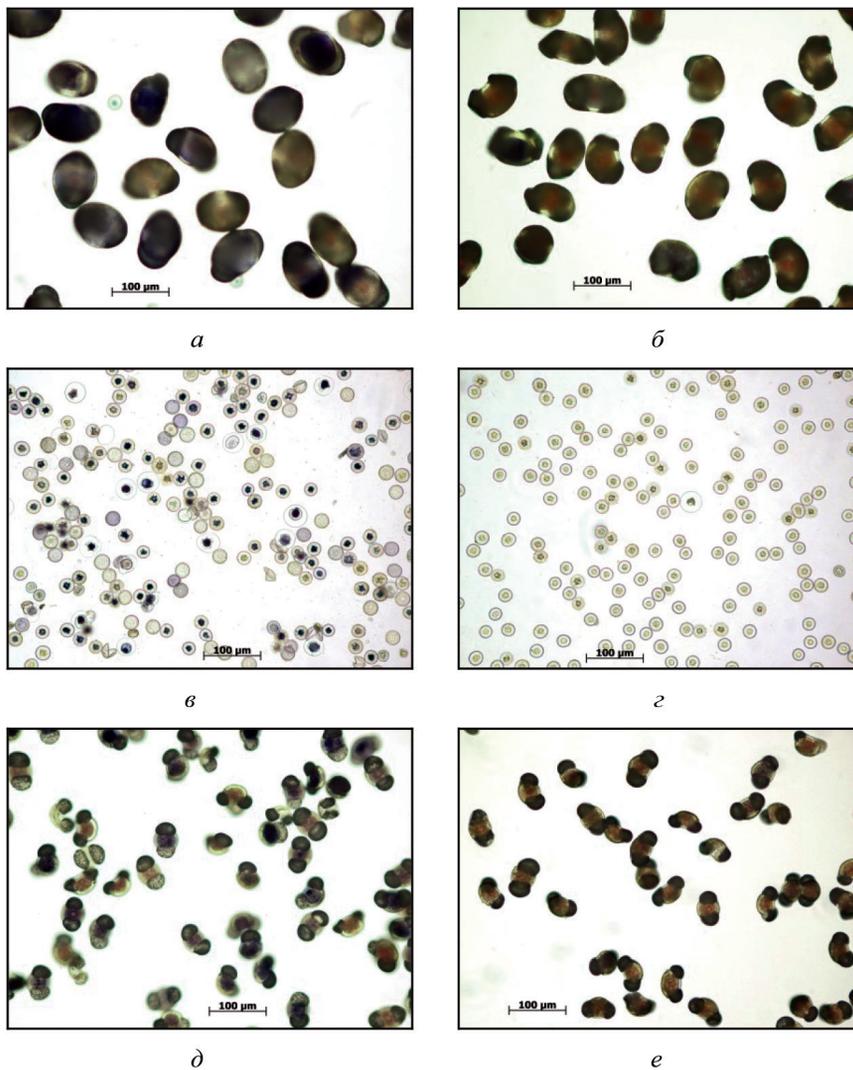


Рис. 2. Результаты тестирования пыльцы на алкогольдегидрогеназу: а — ель (свежая); б — ель (после 30 лет хранения); в — можжевельник (свежая); г — можжевельник (после 26 лет хранения); д — сосна обыкновенная (свежая); е — сосна обыкновенная (после 26 лет хранения)

Fig. 2. Results of pollen testing for alcohol dehydrogenase: а — fir (fresh); б — fir (after 30 years of storage); в — juniper (fresh); г — juniper (after 26 years of storage); д — Scots pine (fresh); е — common pine (after 26 years of storage)

Результаты тестирования пыльцы на ферменты

Results of pollen enzyme testing

Вид хвойных растений	Продолжительность хранения пыльцы, лет	Жизнеспособность фактическая, %	Тест на доброкачественность, %		
			ADH	GDH	MTT
<i>Picea abies</i> x <i>P. obovata</i>	0	62,5 ± 9,8	77,5 ± 11,1	49,7 ± 9,4	75,7 ± 10,4
<i>Pinus sylvestris</i>	0	92,1 ± 2,2	87,4 ± 6,1	75,3 ± 7,7	95,5 ± 1,8
<i>Juniperus communis</i>	0	66,8 ± 7,7	59,9 ± 8,0	65,6 ± 8,6	59,6 ± 8,4
<i>Picea abies</i> x <i>P. obovata</i>	30	0	0	0	0
<i>Picea obovata</i>	33	0	0	0	0
<i>Abies sibirica</i>	33	0	0	0	0
<i>Pinus sylvestris</i>	26	0	0	0	0
<i>Pinus banksiana</i>	32	0	0	0	0
<i>Pinus mugo</i>	26	0	0	8,7 ± 4,4	0
<i>Pinus x funebris</i>	26	0	0	14,4 ± 6,5	0
<i>Pinus sibirica</i>	26	0	0	0	0
<i>Juniperus communis</i>	26	0	4,4 ± 2,1	7,2 ± 4,1	0

Остаточная активность ADH в старой пыльце можжевельника и GDH в старой пыльце сосен горной и погребальной и можжевельника сохранилась и после полной утраты жизнеспособности пыльцы. При выявлении в пыльце активности MDH и SkDH часто наблюдалось интенсивное фоновое окрашивание пыльцевых зерен, поэтому эти ферменты были исключены из дальнейшего анализа.

Выводы

Использование в качестве контроля старой нежизнеспособной пыльцы позволило исключить ошибочные интерпретации результатов тестирования жизнеспособности пыльцы хвойных видов косвенными методами. Флуоресценция пыльцевых зерен хвойных часто никак не связана с их способностью к формированию пыльцевых трубок. Такие флуорохромы, как акридиновый оранжевый, Hoechst 33342, кальцеин АМ мало пригодны для тестирования жизнеспособности пыльцы. Наиболее близкие к фактической жизнеспособности результаты были получены при окрашивании пыльцы флуоресцеин диацетатом. При этом окрашивание FDA чаще всего дает несколько завышенные результаты, особенно при окрашивании пыльцы, имеющую низкую фактическую жизнеспособность. Количественное определение апоптотических и некротических пыльцевых зерен в образцах пыльцы возможно с использованием аннексина V и EthD-III, входящих в набор красителей Apoptotic, Necrotic and Healthy Cells (Biotium). Окрашивание пыльцы на такие ферменты, как алкогольдегидрогеназа и глутаматдегидрогеназа показало результаты,

весьма близкие к ее фактической жизнеспособности, определенной путем прорастивания *in vitro*. Наиболее близкие к фактической жизнеспособности результаты были получены при выявлении общей активности дегидрогеназ путем окрашивания пыльцы тетразолием MTT. Методы, основанные на выявлении общей и специфичной ферментативной активности можно признать вполне надежным для экспресс-диагностики качества пыльцы.

Работа выполнена в рамках государственного задания Федеральному исследовательскому центру комплексного изучения Арктики Уральского отделения Российской академии наук (№ гос. регистрации — 122011400384-2).

Список литературы

- [1] Tanaka K., Naganuma S. The pollen germination and pollen tube development in *Pinus densiflora* Sieb. et Zucc. IX. Population effects // Sci. Repts. Nicosaci Univ., 1974, v. 21, no. 2, pp. 71–79.
- [2] Шардаков В.С. Реакция на пероксидазу как показатель жизнеспособности пыльцы растений // Доклады АН СССР, 1040. Т. 26. Вып. 3. С. 273–276.
- [3] King J.R. The peroxidase reaction as an indicator of pollen viability // Stain. Technol., 1960, v. 35, no. 4, pp. 225–227.
- [4] Диакону П. О методе определения жизнеспособности пыльцы при помощи 2,3,5-трифенилтетразолхлорида // Цитология и генетика, 1968. Т. 2. № 5. С. 476–477.
- [5] Rodriguez-Riano T., Dafni A. A new procedure to assess pollen viability // Sex Plant Reprod, 2000, v. 12, pp. 241–244.
- [6] Мауринь А.М., Кауров И.А. Сравнение методов определения жизнеспособности пыльцы древесных пород // Ботанический журнал, 1956. Т. 41. № 1. С. 81–84.
- [7] Кауров И.А. Качество пыльцы и семян интродуцированных дальневосточных древесных пород // Ботанический журнал, 1959. Т. 44. № 8. С. 1162–1170.

- [8] Parfitt D.E., Ganeshan S. Comparison of procedures for estimating viability of *Prunus* pollen // Hort Science, 1989. v. 24 (2), pp. 354–356.
- [9] Bolat I., Pirlak L. An investigation on pollen viability, germination and tube growth in some stone fruits // Turkish J. of Agriculture and Forestry, 1999. v. 23, pp. 383–388.
- [10] Петров А.П., Погорелов С.В. К методике окрашивания зрелой пыльцы галлоцианином // Ботанический журнал, 1987. Т. 72. № 9. С. 1269–1270.
- [11] Vižintin L., Bohanec B. *In vitro* manipulation of cucumber (*Cucumis sativus* L.) pollen and microspores: isolation procedures, viability tests, germination, maturation // Acta Biologica Cracoviensia. Ser. Botanica, 2004. v. 46, pp. 177–183.
- [12] Erdoğan Ü. Determination of pollen quality and quantity in mulberry (*Morus alba* L.) // Pak. J. Bot., 2015, v. 47 (1), pp. 275–278.
- [13] Mendez N.P., Porquis H.C., Sinamban E.B., Acma F.M. Comparative pollen viability and pollen tube growth of two endemic philippine *Etlingera* (Zingiberaceae, Alpinioideae) // Philippine J. of Systematic Biology, 2017, v. 11 (2), pp. 1–9.
- [14] Тренин В.В. Цитозембриология лиственницы. Л.: Наука, 1986. 88 с.
- [15] Козубов Г.М. Люминесцентный метод изучения пыльцы растений // Ботанический журнал, 1967. Т. 52. № 8. С. 1156–1157.
- [16] Нокс Р.Б. Биология пыльцы. М.: Агропромиздат, 1985. 83 с.
- [17] Tosun F., Koyuncu F. Investigations of suitable pollinator for 0900 *Ziraat* sweet cherry cv.: pollen performance tests, germination tests, germination procedures, *in vitro* and *in vivo* pollinations // Hort. Sci. (Prague), 2007, v. 34 (2), pp. 47–53.
- [18] Foster G.S., Bridgwater F. Viability tests to evaluate pollen reliability in loblolly pine controlled pollinations // For. Sci., 1979, v. 25, no. 2, pp. 270–274.
- [19] Гончаренко Г.Г., Падутов В.Е., Потенко В.В. Руководство по исследованию хвойных видов методом электрофоретического анализа изоферментов. Гомель: Издво Белорусского научно-исследовательского института лесного хозяйства, 1989. 128 с.
- [20] Norton J.D. Testing of plum pollen viability with tetrazolium salts // Proc. Amer. Soc. Hort. Sci., 1966, v. 89, pp. 132–134.
- [21] Seday U., Uzun A., Yilmaz C., Eti S. Production and quality of pollen in terms of fruit set on some self-pollinated pomegranate cultivars // Bulgarian Journal of Agricultural Science, 2013, v. 19 (3), pp. 513–517.
- [22] Jyothi K.J., Sunil C.N. Floral phenology and breeding system of *Aponogeton appendiculatus* V. Bruggen (Aponogetonaceae) // The International J. of Plant Reproductive Biology, 2018, v. 10 (2), pp. 161–165. DOI 10.14787/ijprb.2018.10.2
- [23] Bayazit S., Çalişkan O., Imrak B. Comparison of pollen production and quality characteristics of cultivated and wild almond species // Chilean J. of Agricultural Research, 2011, v. 71 (4), pp. 536–541.
- [24] Atlagić J., Terzić S., Marjanović-Jeromela A. Staining and fluorescent microscopy methods for pollen viability determination in sunflower and other plant species // Ind. Crops Products, 2012, v. 35, pp. 88–91. DOI: 10.1016/j.indcrop.2011.06.012
- [25] Čalić D., Devrnja N., Milojević J. Pollen morphology and variability of *Tulipa hungarica* Borb. // African J. of Biotechnology, 2012, v. 11 (3), pp. 616–620.
- [26] Dutta, S.K., Srivastava M., Chaudhary R. Low temperature storage of mango (*Mangifera indica* L.) pollen // Scientia Horticulturae, 2013, v. 161, pp. 193–197.
- [27] Kundu M., Dubey A., Srivastav M. Effect of gamma ray irradiation and cryopreservation on pollen stainability, *in vitro* germination, and fruit set in *Citrus* // Turk J. Biol., 2014, v. 38, pp. 1–9.
- [28] Impe D., Reitz J., Köpnick C. Assessment of pollen viability for wheat // Front. Plant Sci., 2020, v. 10, p. 1588. DOI: 10.3389/fpls.2019.01588
- [29] Helpson-Harrison J., Helpson-Harrison Y. Evaluation of pollen viability by enzymatically induced fluorescence; intracellular hydrolysis of fluorescein diacetate // Stain Technol., 1970, v. 45, pp. 115–120.
- [30] Noland T., Mohammed G. Fluorescein diacetate as a viability stain for tree roots and seeds // New Forests, 1997, v. 14, pp. 221–232.
- [31] Сурсо М.В. Оценка доброкачественности пыльцы хвойных видов методом окрашивания пыльцевых зерен флуоресцеин диацетатом // J. of Agriculture and Environment, 2022. № 5 (25). С. 1–6.
- [32] Chrzanowski T.H., Crotty R.D., Hubbard J.G., Welch R.P. Applicability of the fluorescein diacetate method of detecting active bacteria in Freshwater // Microb Ecol., 1984, v. 10, pp. 179–185.
- [33] Zink D., Sadoni N., Stelzer E. Visualizing chromatin and chromosomes in living cells // Methods, 2003, v. 29 (1), pp. 42–50. [https://doi.org/10.1016/S1046-2023\(02\)00289-X](https://doi.org/10.1016/S1046-2023(02)00289-X)
- [34] Wang X.M., Terasaki P.I., Jr. Rankin C.W., Chia D., Zhong H.P., Hardy S. A new microcellular cytotoxicity test based on calcein AM release / X.M. Wang // Hum Immunol., 1993, v. 37 (4), pp. 264–270. DOI: 10.1016/0198-8859(93)90510-8
- [35] Suuronen E.J., McLaughlin C.R., Stys P.K., Nakamura M., Munger R., Griffith M. Functional innervation in tissue engineered models for *In vitro* study and testing purposes // Toxicological Sciences, 2004, v. 82 (2), pp. 525–533. DOI: 10.1093/toxsci/kfh270

Сведения об авторе

Сурсо Михаил Вольдемарович — д-р с.-х. наук, гл. науч. сотр., ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаврова Уральского отделения РАН», surso@fciarctic.ru

Поступила в редакцию 10.04.2023.

Одобрено после рецензирования 22.05.2023.

Принята к публикации 20.12.2023.

EXPRESS DIAGNOSTICS METHODS RELIABILITY OF CONIFEROUS SPECIES POLLEN QUALITY

M.V. Surso

Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 20, Nikolsky av., 163020, Arkhangelsk, Russia

surso@fciaarctic.ru

The results of determining the viability of coniferous plant species pollen by indirect methods are presented. The proposed methodological approaches made it possible to exclude possible erroneous estimates when interpreting the results of pollen viability testing. It has been found that fluorescent methods most often overestimate the actual viability of pollen determined by direct methods. Most of the fluorochromes used in the experiments are of little use for assessing the viability of pollen. A visual assessment of the general and specific enzymatic activity of pollen showed results close to its actual viability. Methods based on the detection of enzymatic activity can be recommended for rapid diagnosis of pollen quality of coniferous plants.

Keywords: pollen, viability, conifers, fluorescence, enzymes

Suggested citation: Surso M.V. *Dostovernost' metodov ekspres-diagnosticski kachestva pyl'tsy khvoynnykh rasteniy* [Express diagnostics methods reliability of coniferous species pollen quality]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2024, vol. 28, no. 1, pp. 56–67. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-1-56-67

References

- [1] Tanaka K., Naganuma S. The pollen germination and pollen tube development in *Pinus densiflora* Sieb. et Zucc. IX. Population effects. *Sci. Repts. Hicosaci Univ.*, 1974, v. 21, no. 2, pp. 71–79.
- [2] Shardakov V.S. *Reaktsiya na peroksidazu kak pokazatel' zhiznesposobnosti pyl'tsy rasteniy* [Reaction to peroxidase as an indicator of the viability of plant pollen]. *Doklady AN SSSR* [Reports of the USSR Academy of Sciences], 1940, t. 26, v. 3, pp. 273–276.
- [3] King J.R. The peroxidase reaction as an indicator of pollen viability. *Stain. Technol.*, 1960, v. 35, no. 4, pp. 225–227.
- [4] Diakonu P. *O metode opredeleniya zhiznesposobnosti pyl'tsy pri pomoshchi 2,3,5-trifeniltetrazolkhlorida* [On the method of determining the viability of pollen using 2,3,5-triphenyltetrazole chloride]. *Tsitologiya i genetika* [Cytology and Genetics]. 1968, v. 2, no. 5, pp. 476–477.
- [5] Rodriguez-Riano T., Dafni A. A new procedure to assess pollen viability. *Sex Plant Reprod.*, 2000, v. 12, pp. 241–244.
- [6] Maurin' A.M., Kurov I.A. *Sravnienie metodov opredeleniya zhiznesposobnosti pyl'tsy drevesnykh porod* [Comparison of methods for determining the viability of tree pollen]. *Botanicheskiy zhurnal* [Botanical J.], 1956, v. 41, no. 1, pp. 81–84.
- [7] Kurov I.A. *Kachestvo pyl'tsy i semyan introdutsirovannykh dal'nevostochnykh drevesnykh porod* [Quality of pollen and seeds of introduced Far Eastern tree species]. *Botanicheskiy zhurnal* [Botanical Journal], 1959, t. 44, no. 8, pp. 1162–1170.
- [8] Parfitt D.E., Ganeshan S. Comparison of procedures for estimating viability of *Prunus* pollen. *Hort Science*, 1989, v. 24 (2), pp. 354–356.
- [9] Bolat I., Pirlak L. An investigation on pollen viability, germination and tube growth in some stone fruits. *Turkish J. of Agriculture and Forestry*, 1999, v. 23, pp. 383–388.
- [10] Petrov A.P., Pogorelov S.V. *K metodike okrashvaniya zreloy pyl'tsy gallotsianinom* [On the technique of staining mature pollen with gallocyanin]. *Botanicheskiy zhurnal* [Botanical J.], 1987, t. 72, no. 9, pp. 1269–1270.
- [11] Vižintin L., Bohanec B. *In vitro* manipulation of cucumber (*Cucumis sativus* L.) pollen and microspores: isolation procedures, viability tests, germination, maturation. *Acta Biologica Cracoviensia. Ser. Botanica*, 2004, v. 46, pp. 177–183.
- [12] Erdoğan Ü. Determination of pollen quality and quantity in mulberry (*Morus alba* L.). *Pak. J. Bot.*, 2015, v. 47 (1), pp. 275–278.
- [13] Mendez N.P., Porquis H.C., Sinamban E.B., Acma F.M. Comparative pollen viability and pollen tube growth of two endemic philippine *Etilingera* (Zingiberaceae, Alpinioideae). *Philippine J. of Systematic Biology*, 2017, v. 11 (2), pp. 1–9.
- [14] Trenin V.V. *Tsitoembriologiya listvenitsy* [Cytoembryology of larch]. Leningrad: Nauka, 1986, 88 p.
- [15] Kozubov G.M. *Lyuminescentnyy metod izucheniya pyl'tsy rasteniy* [Luminescent method for studying plant pollen]. *Botanicheskiy zhurnal* [Botanical Journal], 1967, t. 52, no. 8, pp. 1156–1157.
- [16] Noks R.B. *Biologiya pyl'tsy* [Biology of pollen]. Moscow: Agropromizdat, 1985, 83 p.
- [17] Tosun F., Koyuncu F. Investigations of suitable pollinator for 0900 *Ziraat* sweet cherry cv.: pollen performance tests, germination tests, germination procedures, *in vitro* and *in vivo* pollinations. *Hort. Sci. (Prague)*, 2007, v. 34 (2), pp. 47–53.
- [18] Foster G.S., Bridgwater F. Viability tests to evaluate pollen reliability in loblolly pine controlled pollinations. *For. Sci.*, 1979, v. 25, no. 2, pp. 270–274.
- [19] Goncharenko G.G., Padutov V.E., Potenko V.V. *Rukovodstvo po issledovaniyu khvoynnykh vidov metodom elektroforeticheskogo analiza izofermentov* [Guide to the study of coniferous species by electrophoretic analysis of isoenzymes]. Gomel: Belarusian Research Institute of Forestry, 1989, 128 p.
- [20] Norton J.D. Testing of plum pollen viability with tetrazolium salts. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 1966, v. 89, pp. 132–134.
- [21] Seday U., Uzun A., Yilmaz C., Eti S. Production and quality of pollen in terms of fruit set on some self-pollinated pomegranate cultivars. *Bulgarian J. of Agricultural Science*, 2013, v. 19 (3), pp. 513–517.
- [22] Jyothi K.J., Sunil C.N. Floral phenology and breeding system of *Aponogeton appendiculatus* V. Bruggen (Aponogetonaceae). *The International J. of Plant Reproductive Biology*, 2018, v. 10 (2), pp. 161–165. DOI 10.14787/ijprb.2018.10.2
- [23] Bayazit S., Çalişkan O., Imrak B. Comparison of pollen production and quality characteristics of cultivated and wild almond species. *Chilean J. of Agricultural Research*, 2011, v. 71 (4), pp. 536–541.

- [24] Atagić J., Terzić S., Marjanović-Jeromela A. Staining and fluorescent microscopy methods for pollen viability determination in sunflower and other plant species. *Ind. Crops Products*, 2012, v. 35, pp. 88–91. DOI: 10.1016/j.indcrop.2011.06.012
- [25] Čalić D., Devrnja N., Milojević J. Pollen morphology and variability of *Tulipa hungarica* Borb. *African J. of Biotechnology*, 2012, v. 11 (3), pp. 616–620.
- [26] Dutta, S.K., Srivastava M., Chaudhary R. Low temperature storage of mango (*Mangifera indica* L.) pollen. *Scientia Horticulturae*, 2013, v. 161, pp. 193–197.
- [27] Kundu M., Dubey A., Srivastav M. Effect of gamma ray irradiation and cryopreservation on pollen stainability, *in vitro* germination, and fruit set in *Citrus*. *Turk J. Biol.*, 2014, v. 38, pp. 1–9.
- [28] Impe D., Reitz J., Köpnick C. Assessment of pollen viability for wheat. *Front. Plant Sci.*, 2020, v. 10, p. 1588. DOI: 10.3389/fpls.2019.01588
- [29] Helpson-Harrison J., Helpson-Harrison Y. Evaluation of pollen viability by enzymatically induced fluorescence; intracellular hydrolysis of fluorescein diacetate. *Stain Technol.*, 1970, v. 45, pp. 115–120.
- [30] Noland T., Mohammed G. Fluorescein diacetate as a viability stain for tree roots and seeds. *New Forests*, 1997, v. 14, pp. 221–232.
- [31] Surso M.V. *Otsenka dobrokachestvennosti pyl'tsy khvoynykh vidov metodom okrashivaniya pyl'tsevykh zeren fluorestsein diacetatom* [Assessment of the good quality of pollen of coniferous species by staining pollen grains with fluorescein diacetate]. *J. of Agriculture and Environment [J. of Agriculture and Environment]*, 2022, no. 5 (25), pp. 1–6.
- [32] Chrzanowski T.H., Crotty R.D., Hubbard J.G., Welch R.P. Applicability of the fluorescein diacetate method of detecting active bacteria in Freshwater. *Microb Ecol.*, 1984, v. 10, pp. 179–185.
- [33] Zink D., Sadoni N., Stelzer E. Visualizing chromatin and chromosomes in living cells. *Methods*, 2003, v. 29 (1), pp. 42–50. [https://doi.org/10.1016/S1046-2023\(02\)00289-X](https://doi.org/10.1016/S1046-2023(02)00289-X)
- [34] Wang X.M., Terasaki P.I., Jr. Rankin C.W., Chia D., Zhong H.P., Hardy S. A new microcellular cytotoxicity test based on calcein AM release / X.M. Wang. *Hum Immunol.*, 1993, v. 37 (4), pp. 264–270. DOI: 10.1016/0198-8859(93)90510-8
- [35] Suuronen E.J., McLaughlin C.R., Stys P.K., Nakamura M., Munger R., Griffith M. Functional innervation in tissue engineered models for *In vitro* study and testing purposes. *Toxicological Sciences*, 2004, v. 82 (2), pp. 525–533. DOI: 10.1093/toxsci/kfh270

The work was performed within the framework of the state assignment to the Federal Research Center for Integrated Arctic Studies of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (State registration No. — 122011400384-2).

Author's information

Surso Mikhail Vol'demarovich — Dr. Sci. (Agriculture), Chief Researcher, Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, surso@fciarctic.ru

Received 10.04.2023.

Approved after review 22.05.2023.

Accepted for publication 20.12.2023.

ВЛИЯНИЕ ДРЕВЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА ФИЗИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ СНЕЖНОГО ПОКРОВА СРЕДНЕЙ ТАЙГИ РЕСПУБЛИКИ КОМИ

Т.А. Пристова

ФГБУН «Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук»
(Институт биологии Коми НЦ УрО РАН), Россия, 167982, г. Сыктывкар, ГСП-2, ул. Коммунистическая, д. 28

pristova@ib.komisc.ru

Рассмотрено влияние разновозрастных лиственных лесов послерубочного происхождения в средней тайге Республики Коми и отдельных видов древесных растений на физические показатели снежного покрова. Представлены данные таксационных измерений и их динамика для исследуемых насаждений. Показана зависимость показателей снежного покрова от вида древесного растения и метеорологических условий. Определено, что влияние древесных пород на снежный покров более выражено для ели, чем для березы и осины. Показано, что рост и изменение таксационных характеристик древостоя в процессе естественного лесовозобновления отражаются на основных показателях снежного покрова. Определены средние многолетние значения толщины снежного покрова: в березово-еловом насаждении — 75 ± 9 см, осиново-березовом — 72 ± 7 и на открытом месте (поле) — 70 ± 10 см. Установлено, что физические показатели снежного покрова в пределах лиственных насаждений неравномерны и зависят от состава древостоя. Выявлена вариабельность средней толщины снежного покрова за зимние периоды 2005–2015 гг. и 2020–2021 гг. в березово-еловом и осиново-березовом насаждениях. Зафиксированы изменения запасов влаги в снежном покрове лиственных насаждений от 81 ± 3 до 191 ± 4 мм при средних многолетних значениях около 140 мм и среднее значение плотности снежного покрова около $0,2 \text{ г/см}^3$. Показано, что запас влаги в снежном покрове лиственных лесов выше, чем на открытом месте. Рассчитан коэффициент снегонакопления, варьирующий в пределах от 1,0 до 1,5, при среднем значении 1,1. Полученные результаты дают возможность провести анализ зависимости динамики физических показателей снежного покрова от изменений таксационных показателей древостоев в лиственных лесах. Дальнейшие исследования по влиянию древесной растительности на характеристики снежного покрова, в перспективе могут использоваться при оценке влияния снежного покрова в лесах послерубочного происхождения на весенний сток северных рек.

Ключевые слова: средняя тайга, лиственные леса послерубочного происхождения, снежный покров

Ссылка для цитирования: Пристова Т.А. Влияние древесной растительности на физические показатели снежного покрова средней тайги Республики Коми // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2024. Т. 28. № 1. С. 68–79. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-1-68-79

Снежный покров как абиотическая часть природного комплекса представляет собой важный элемент экосистемы, особенно в районах его продолжительного залегания [1]. Как установлено, снег и древесная растительность взаимодействуют. С одной стороны, снежный покров положительно влияет на растительность, поскольку предотвращает промерзание почвы, а также на экологические и гидрологические процессы в лесных экосистемах [2–4]. С другой стороны, древесная и кустарниковая растительность удерживает больше снега и в период его таяния способствует увеличению количества продуктивной влаги. Процесс таяния снега в лесу продолжается более длительное время в отличие от территорий без лесов, вследствие чего поверхностный сток вод переходит во внутрпочвенный [4–6].

Водорегулирующую функцию лесов в определенной степени отражают физические характе-

ристики снежного покрова. Леса по сравнению с открытыми пространствами изменяют плотность, толщину и влагозапас снежного покрова. При этом влияние хвойных и лиственных лесов различается [7]. Толщина снега в лесу больше, чем на открытой местности. Однако многие авторы указывают на нестабильность показателей толщины, влагозапаса и плотности снежного покрова в лесу и зависимость этих показателей от состава насаждений, их густоты и характера древесного полога [4, 6, 8, 9]. Кроме того, снег на открытых участках менее плотный, чем под кронами деревьев. Воздействие леса на физические характеристики снега определяется, в частности, таким фактором, как — влияние крон деревьев, которые обуславливают задержку части снега и снижение скорости ветра в лесу [10–12]. В последние десятилетия интерес к изучению снежного покрова на облесенных территориях обусловлен изменениями, связанными с потеплением климата [3, 11–14].

Снежный покров оказывает существенное влияние на сток рек, поскольку в условиях Севера реки имеют преимущественно снеговое питание. В Республике Коми доля участия снежного покрова в годовом стоке рек составляет 50...80 % [15]. Рубка лесов, как известно, вызывает обмеление рек, хотя исследователи расходятся во мнениях об этом. По данным одних исследователей сток увеличивается, по данным других — уменьшается [16–18]. Согласно О.И. Крестовскому, рубка лесов с последующим его возобновлением уменьшает годовой сток и одновременно увеличивает неравномерность его внутригодового распределения, при этом весенний сток увеличивается до 10 %, а меженный уменьшается до 15 % относительно спелых и старовозрастных лесов [17].

Хвойные леса характеризуются оптимальными водорегулирующими функциями по сравнению с мелколиственными [6, 12], поэтому рубка этих лесов приводит к уменьшению водных ресурсов лесного массива, так как вырубке постепенно зарастают лиственными молодняками, потребляющими больше влаги, нежели спелые и старовозрастные леса [17].

В условиях средней тайги Республики Коми наибольшее суммарное водопотребление лиственных лесов наступает в возрасте 30...50 лет, а затем постепенно снижается [19]. Противоречивые оценки о влиянии рубок таежных лесов на сток рек обусловлены отсутствием связи между данными о гидрологическом значении лесов и лесотаксационными и почвенно-гидрологическими характеристиками водосборов [17]. Такая ситуация обеспечивает актуальность исследований влияния лиственных лесов послерубочного происхождения на физические характеристики снежного покрова в совокупности с их таксационными показателями. Показатели влагозапаса снежного покрова к моменту начала весеннего снеготаяния являются исходными в гидрологических расчетах формирования весеннего стока [5], поэтому получение сведений о максимальном накоплении влаги в снежном покрове и оценке вклада лиственных лесов в весенний сток северных рек имеет крайне важное научно-практическое значение и является актуальным.

Физические характеристики снежного покрова и влияние на них леса для территории Республики Коми в настоящее время анализируются редко [7, 12, 20]. Ранее они проводились в рамках комплексных многолетних исследований влияния леса на условия формирования стока малых рек на базе Ляльского стационара Союзгипролесхоза, расположенного в Княжпогостском районе Республики Коми [6].

Цель работы

Цель работы — оценка влияния древостоев лиственных лесов послерубочного происхождения, формирующихся в процессе естественного лесовосстановления, на физические параметры снежного покрова и их связь с лесотаксационными показателями в условиях средней тайги Республики Коми.

Материалы и методы

Исследования проводились на базе Ляльского лесозоологического стационара Института биологии Коми НЦ УрО РАН, расположенного в Княжпогостском районе Республики Коми (бассейн р. Вымь) в зимние периоды 2005–2015 гг. и 2020–2021 гг. Снежный покров изучался в березово-еловом и осиново-березовом насаждениях (62°18' с. ш. 50°55' в. д.) на шести постоянных пробных площадях (ППП) размером 300 м² каждая (по три в каждом насаждении) [21]. На ППП определены видовой состав и таксационные показатели древостоя, подроста и подлеска по общепринятой в лесной таксации методике [22]. Подробная характеристика древостоя и подроста приведена в табл. 1. Подлесок исследуемых фитоценозов состоит из ивы козьей, рябины и шиповника (высотой до 0,5 м) и единичных экземпляров жимолости (от 0,6 до 1 м), в березово-еловом насаждении дополнительно ивы пятитычинковой и ивы филиколистной. Почва в пределах исследуемой территории — подзолисто-торфянисто-глееватая.

В древостое березово-елового насаждения за 15 лет произошли существенные изменения, в частности увеличились запасы стволовой древесины березы и ели, густота древостоя возросла с 0,5 до 2,2, а подроста снизилась — с 16,0 до 8,7 тыс. экз./га (см. табл. 1). В осиново-березовом насаждении изменился состав древостоя: увеличилась доля осины с 5 до 6 единиц и снизилось участие березы с 4 до 3 единиц. За исследуемый период запас стволовой древесины осины возрос почти в 2 раза, ели — увеличивается незначительно, густота древостоя снизилась с 2,8 до 1,5, подроста — с 12,3 до 2,3 тыс. экз./га. (см. табл. 1). Зафиксирован рост полноты древостоя от 0,2 до 0,8 в березово-еловом и от 0,9 до 1,1 в осиново-березовом насаждении. До рубок, проведенных в 1970–1990-е годы, на месте исследуемых насаждений произрастали ельник чернично-долгомощный и ельник черничный в возрасте 150...190 лет с составом древостоя 8Е2Б и подроста, полностью представленного елью, который был частично сохранен на вырубке (по данным Кылтвовского участкового лесничества ГУ «Железнодорожное лесничество»).

Т а б л и ц а 1

**Лесотаксационная характеристика древостоя и подроста березово-елового
и осиново-березового насаждений**

Forest taxation characteristics of forest stand and undergrowth of birch-spruce and aspen-birch stand

Год учета	Состав древостоя*	Вид	Густота, экз./га		Возраст, лет	Средняя высота, м	Средний диаметр ствола, см	Запас древесины, м ³ /га		Подрост, тыс. экз./га
			растущих	сухих				растущих	сухих	
Березово-еловое насаждение разнотравного типа										
2005	6Б4Еед.С ед.Ос	Ель	211	11	12...35	7	9	5,3	0,1	3,0
		Береза	256	—	12	8	9	7,0	—	13,0
		Всего	467	11	—	—	—	12,3	0,1	16,0
2015	6Б4Е+С+Ос	Ель	300	11	22...45	8	11	18,3	0,1	2,0
		Береза	777	22	22	9	9	30,9	0,1	11,0
		Осина	33	0	20	10	10	1,0	0	0,04
		Сосна	22	0	20	11	12	1,5	0	0,1
		Всего	1132	33	—	—	—	51,7	0,2	13,14
2020	6Б4Е+С ед. Ос	Ель	456	22	27...50	10	11	29,1	0,4	3,5
		Береза	1678	11	27	9	9	47,8	0,1	5,2
		Осина	11	11	25	11	14	0,9	0	0
		Сосна	33	0	25	8	11	2,4	0	0
		Всего	2178	44	—	—	—	80,2	0,5	8,7
Осиново-березовое насаждение разнотравно-черничного типа										
2005	5Ос4Б1Е ед.Пх	Осина	524	55	40	13	16	78	4	0,1
		Береза	2032	33	40	11	8	65	1	7,0
		Ель	211	—	37	8	8	18	—	5,0
		Пихта	11	—	30	6	6	0,1	—	0,2
		Всего	2778	88	—	—	—	161,1	5	12,3
2015	6Ос3Б1Е ед.Пх	Осина	489	88	50	14	19	136,2	14,8	0,1
		Береза	1378	22	50	10	10	75,3	0,1	1,0
		Ель	522	11	47	9	9	20,2	0,1	2,0
		Пихта	22	0	40	8	8	0,4	0	0,1
		Всего	2411	121	—	—	—	232,1	15,0	3,2
2020	6Ос3Б1Е ед.Пх	Осина	400	44	55	16	22	150,5	0,6	0,07
		Береза	1467	378	55	10	9	63,4	18,8	0,4
		Ель	622	67	52	8	9	23,0	2,6	1,7
		Пихта	22	0	45	9	9	0,6	0	0,1
		Сосна	11	0	15	6	7	0,2	0	0
Всего	2522	489	—	—	—	237,7	22,0	2,3		

*Состав древостоя рассчитан по запасу

Для сравнения с исследуемыми лиственными насаждениями в 2006 и 2009 гг. был изучен снежный покров в ельнике черничном. Согласно данным, опубликованным в 2006 г., ельник с составом древостоя 8Е1Б1Пх относится к IV классу бонитета (возраст деревьев от 100 до 160 лет), имеет густоту 1 тыс. экз./га (62°17' с. ш. 50°40' в. д.) [23]. На открытом месте (поле) эти исследования проводились в окрестностях д. Серегово (62°19' с. ш. 50°48' в. д.). Ближайшая метеостанция расположена в 25 км от места отбора проб в с. Усть-Вымь Усть-Вымского района Республики Коми (62°13' с. ш. 50°27' в. д.).

Участок исследований расположен в юго-западном равнинном климатическом районе Республики Коми, характеризуется преимущественно равномерным распределением осадков [15].

Среднегодовая температура воздуха в районе исследований составляет 0 °С, период с устойчивым снежным покровом длится 190 сут. Годовое количество осадков — 700 мм. Средние даты образования устойчивого снежного покрова — 5 ноября, его разрушения — 25 апреля, схода снежного покрова — 1–5 мая [24]. Характеристика снежного покрова в III декаде марта в период с 2005 по 2015 гг., по данным метеостанции «Усть-Вымь» республиканского Центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Республики Коми, приведена в табл. 2 [25]. Согласно метеорологическим данным, наименьшее количество твердых атмосферных осадков выпало зимой 2005/2006 гг., а наибольшее — в зимние периоды 2006/2007, 2008/2009, 2009/2010 и 2013/2014 гг.

**Показатели количества осадков в виде снега, толщины
и плотности снежного покрова, по данным метеостанции «Усть-Вымь» [25]**

**Indicators of the amount of precipitation (snow), the high and density
of the snow cover according to the Ust-Vym weather station [25]**

Зимний период	Толщина снежного покрова на III декаду марта, см	Плотность снега на III декаду марта, г/см ³	Количество осадков в виде снега, мм	Средняя температура воздуха на III декаду марта, °С
2005/2006	58	0,22	123	-7,2
2006/2007	52	0,23	209	2,0
2008/2009	57	0,27	172	-2,9
2009/2010	65	0,25	169	-4,3
2010/2011	59	0,32	128	-4,7
2011/2012	70	0,24	133	-6,5
2012/2013	65	0,23	138	-11,4
2013/2014	49	0,30	218	-3,0
2014/2015	51	0,29	151	-2,3
В среднем	58	0,26	149	—

Примечание. Количество осадков в виде снега рассчитано как сумма осадков за период с III декады ноября по III декаду марта.

Измерения толщины снежного покрова проводились в III декаде марта, в период максимального накопления снежного покрова для данного района. Снегомерные съемки на лесных участках проводились по характерным маршрутам с учетом расположения ППП, обозначенных столбами, на которых, как упоминалось выше, определялись лесотаксационные показатели. Замеры толщины снежного покрова проведены с помощью снегомерной рейки через каждые 5–10 м. Измерения толщины снежного покрова и отбор проб для определения плотности проведены под кронами осины, березы, ели, рябины, ивы и в межкروновых пространствах («окнах»), в 5–10-кратной повторности. На открытом месте (поле) замеры проведены с учетом достаточного расстояния от дороги и леса (более 20 м) через каждые 5–10 м в 10–15-кратной повторности [5]. Отбор проб для определения плотности снега проведен с помощью пластикового снегомера цилиндрической формы с нанесенной снаружи мерной шкалой до 100 см. Снегомер, погруженный в снег фиксировался, откапывался на всю глубину снежного покрова и затем извлекался вместе с керном снега [5]. Каждая партия кернов отбиралась в полиэтиленовый пакет для последующего определения массы и объема снеговой воды в соответствии с ГОСТ 17.1.5.05–85 [26]. Пробы взвешивались на лабораторных весах с точностью до 0,01 г. В ходе исследований было выполнено около 800 замеров высоты снежного покрова, в том числе 600 — в лесу, 200 — на открытом месте.

Полученные данные использовались для расчетов плотности снега (ρ) по формуле

$$\rho = \frac{m}{Sh},$$

где m — масса пробы снега, г;

S — приемная площадь цилиндра, см²;

h — высота пробы снега, м.

Влагозапас W в снежном покрове рассчитан по формуле

$$W = 10hr,$$

где ρ — плотность снега, г/см³;

h — высота пробы снега, см.

Статистическая обработка полученных данных включала в себя определение среднего арифметического, средней квадратической ошибки, коэффициента вариации (CV) и достоверности различий.

Результаты и обсуждение

Влияние леса на снежный покров обусловлено тем, что снег накапливается на ветвях, испаряется и уплотняется под кронами [5, 10, 27]. Толщина снежного покрова и его физико-механические свойства непрерывно изменяются в течение зимы [1, 28], поэтому представленные далее результаты отражают показатели снежного покрова III декады марта — период максимального накопления снежного покрова перед началом весеннего снеготаяния. Свойства снежного покрова определяют такие важные параметры, как толщина, плотность снежного покрова и его влагозапас [29, 30]. Средняя толщина снежного покрова варьирует из года в год. Среднее многолетнее значение толщины снежного покрова в пределах березово-елового насаждения составляет 75 ± 9 и в зависимости от года исследований изменяется от 63 ± 3 до 91 ± 3 см, в осиново-березовом — 72 ± 7 см, изменяясь от 56 ± 7 до 89 ± 5 см, на открытом месте — 70 ± 9

и варьирует от 54 ± 2 до 88 ± 3 см соответственно (рис. 1). Таким образом, средние многолетние значения толщины снежного покрова в лиственных насаждениях и на открытом поле различаются между собой на 2...5 см, а в зависимости от года исследования и на 1...14 см (см. рис. 1).

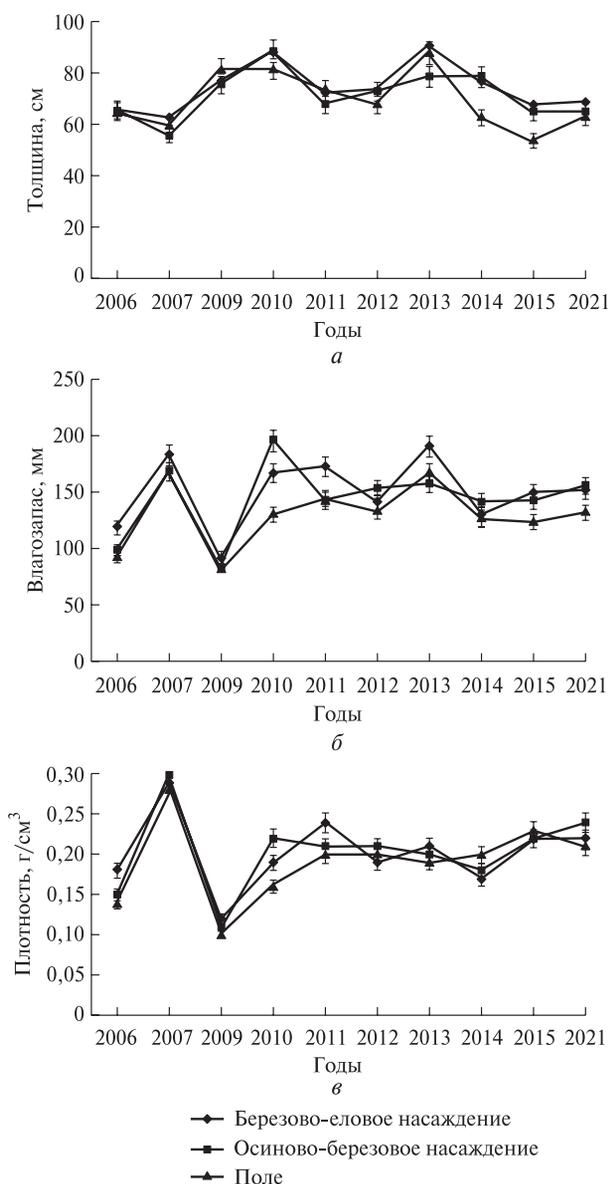


Рис. 1. Значение показателей толщины (а), влагозапаса (б) и плотности (г) снежного покрова в III декаде марта в березово-еловом, осиново-березовом насаждениях и на открытом поле в период с 2006 по 2021 г.

Fig. 1. The value of the indicators of density (a), moisture content (b) and thickness (g) of snow cover in the third decade of March in birch-spruce, aspen-birch stand and fields in the period from 2006 to 2021

В исследуемых лиственных насаждениях толщина снежного покрова довольно вариабельна (рис. 2). В березово-еловом насаждении за исследуемые годы в зависимости от места замера она изменялась от 48 до 98 см, в осиново-березо-

вом — от 48 до 100 см. Это обусловлено влиянием различных видов древесных растений на высоту снежного покрова в лесах [6–8].

Нами установлены различия в толщине снежного покрова, залегающего под основными лесообразующими породами — елью, березой и осиной и в межкروновых пространствах («окнах»). В марте 2010 г. в осиново-березовом насаждении под кронами осины средняя толщина снежного покрова составила 88 см, под кронами березы — 92, под кронами ели — 83, в «окнах» — 91 см (см. рис. 2). Под кронами ели толщина снежного покрова в большинстве случаев меньше, чем под лиственными породами. Исследования, проведенные в 2006 и 2009 гг. в ельнике показали, что влияние древесных пород на толщину снежного покрова в нем более существенно, чем в лиственных насаждениях. Например, в марте 2006 г. в березово-еловом насаждении толщина снежного покрова под кронами ели составила 67 см, березы — 65 см, в осиново-березовом насаждении 68 и 70 см, в ельнике — 50 и 56 см соответственно (табл. 3). Это подтверждается и литературными данными, согласно которым ельники задерживают больше снега, чем лиственные насаждения, и толщина снежного покрова в них меньше [5, 7, 10, 27].

Средние значения толщины снежного покрова в ельнике, по сравнению с лиственными насаждениями, в марте 2006 и 2009 г. на 15...17 % меньше. Помимо древесных пород, формирующих древостой исследуемых лиственных насаждений, на снежный покров оказывают влияние подлесочные породы — рябина и ива (см. табл. 3). Основные характеристики снежного покрова для этих пород довольно близки к таковым для березы. Например, в 2009 г. в березово-еловом насаждении толщина снежного покрова под кронами березы составила 77 см, ивы и рябины — по 76 см (см. табл. 3).

Снежный покров в лесу, по мнению авторов работ [5, 6] более плотный, чем на открытом месте. Полученные нами данные показали, что средняя плотность снега в исследуемых лиственных насаждениях может быть как выше, так и ниже, чем на открытых местах (в поле) (см. рис. 1, табл. 3). Например, в 2021 г. этот показатель в березово-еловом насаждении составил 0,22, в осиново-березовом — 0,24, на открытом месте (в поле) — 0,21 г/см³, а в 2014 г. — 0,17, 0,18 и 0,20 соответственно (см. рис. 1). В ельнике снег более плотный, чем в лиственных насаждениях (см. табл. 3). В 2009 г. плотность снежного покрова в лиственных насаждениях составила 0,11...0,12, в ельнике — 0,20 г/см³ (см. табл. 3). На это же указывается в работе О.И. Крестовского (1986) для южнотаежных лесов Кировской

области в бассейне р. Вятка: в ельнике плотность снежного покрова к началу весны составила 0,26, в смешанном лиственно-хвойном — 0,24, в лиственном лесу — 0,23 г/см³, при этом автор отметил максимальную плотность снежного покрова в поле — 0,28 г/см³ [17].

Проведенные исследования показали, что виды древесных растений оказывают различное влияние на плотность снежного покрова. В большинстве случаев более высокой плотностью отличается снег под кронами ели. Так, в марте 2006 г. плотность снега в березово-еловом насаждении под кронами ели составила 0,21, под кронами березы — 0,18, в осиново-березовом — 0,16 и 0,18 г/см³, в ельнике — 0,25 и 0,21 г/см³ соответственно, в межкروновых пространствах — 0,10, в поле — 0,15 г/см³ (см. табл. 3). Среднее значение плотности снежного покрова изменяется от года к году в лиственных насаждениях и поле от 0,1 до 0,3 г/см³ (см. рис. 1). Такая вариабельность, с одной стороны, обусловлена различиями в метеорологических условиях исследуемых временных периодов. Согласно метеоданным, плотность снежного покрова в III декаде марта с 2005 по 2015 гг. изменялась от 0,22 до 0,32 г/см³ (см. табл. 2). С другой стороны, согласно полученным данным, показатель плотности снега в пределах лиственных насаждений, в определенной степени обусловлен влиянием древесных пород, причем ель оказывает на нее большее влияние, чем лиственные породы (см. табл. 3).

Запасы влаги в снежном покрове влияют на водный режим лесных почв и продуктивность растений [3, 6]. Влагозапас снежного покрова в лиственных насаждениях за исследуемые периоды изменяется от 84 до 196 мм, при этом средние многолетние значения составляют около 140 мм (см. рис. 1). Запасы влаги в снежном покрове лиственных лесов и ельнике выше, чем в поле (см. табл. 3, см. рис. 1). Это подтверждают и другие исследователи [5, 6, 27, 29]. Среднее значение влагозапаса в снежном покрове ельника выше, чем в поле и лиственных насаждениях. Например, в 2006 г. в поле он составил в среднем 93 мм, в березово-еловом насаждении — 119 мм, в осиново-березовом — 108 мм, в ельнике — 123 мм (см. табл. 3), т. е. запас влаги в снежном покрове исследуемых лесных участков варьирует. Значение коэффициента вариации (*CV*) по среднему показателю влагозапаса в лиственных насаждениях изменяется в диапазоне от 5 до 19 %.

В зависимости от года средние значения основных физических показателей снежного покрова могут существенно различаться. На показатели толщины снежного покрова исследуемых лесных участков оказывают влияние метеорологические условия, что отмечается в работах многих исследователей [4, 14, 32, 33].

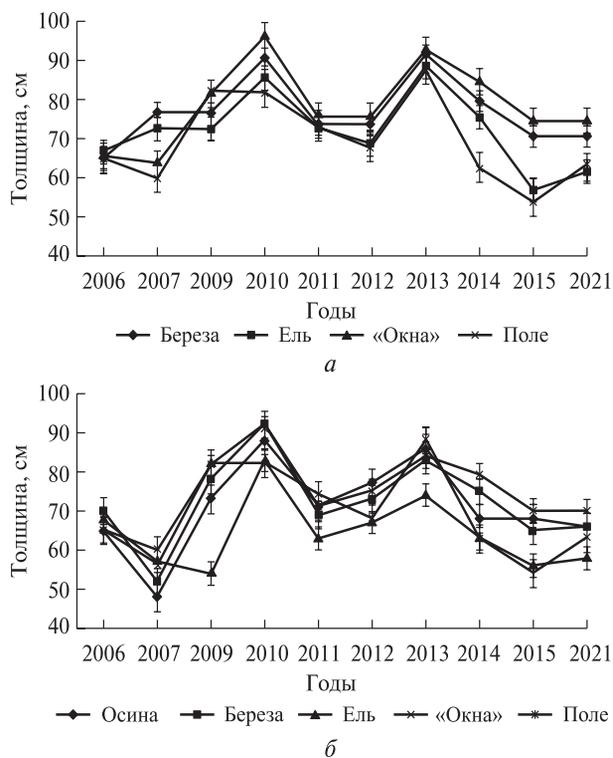


Рис. 2. Толщина снежного покрова под кронами основных лесообразующих пород, в межкروновых пространствах («окнах») в березово-еловом (а) и осиново-березовом (б) насаждениях и на открытом поле в разные годы измерений

Fig. 2. Thickness of snow cover under the crowns of the main forest-forming species, in intercrown spaces («windows») in birch-spruce (a) and aspen-birch (b) stand and the field in different years of measurements

Например, в марте 2010, 2012 и 2013 г., согласно метеоданным, толщина снежного покрова была наибольшей — 65...70 см (см. табл. 2). Эта тенденция наблюдается и на лесных участках (см. рис. 1). Минимальная толщина снежного покрова в лиственных насаждениях приходится на март 2007 г. (см. рис. 1), что вполне согласуется с низкими значениями этого показателя по данным метеостанции «Усть-Вымь» (см. табл. 2). Низкая толщина снега наблюдалась также в 2014 и 2015 гг., при этом толщина снежного покрова не отличалась столь низкими значениями, как в 2007 г. Возможно, определенное влияние на этот показатель оказал температурный режим марта 2007 г. (см. табл. 2).

Средние многолетние значения толщины, плотности и влагозапаса снежного покрова в лиственных насаждениях и на открытых участках довольно близки, и различия между ними статистически не значимы ($p < 0,05$). Однако эти показатели существенно варьируют от года к году, поэтому если сопоставлять их для каждого отдельного года, то различия между лиственными насаждениями и полем в большинстве случаев

**Основные характеристики снежного покрова ельника
в исследуемых лиственных насаждениях в 2006 и 2009 гг.**

The main characteristics of the snow cover of the spruce forest and the studied deciduous stands in 2006 and 2009

Место сбора снега	2006 г.			2009 г.		
	Толщина, см	Плотность, г/см ³	Влагозапас, мм	Толщина, см	Плотность, г/см ³	Влагозапас, мм
Березово-еловый молодняк						
Под кронами березы	65 ± 3	0,18 ± 0,01	117 ± 7	77 ± 7	0,11 ± 0,01	85 ± 2
Под кронами ели	67 ± 6	0,21 ± 0,01	141 ± 8	73 ± 6	0,13 ± 0,01	95 ± 3
Под кронами ивы	68 ± 2	0,14 ± 0,01	95 ± 4	76 ± 4	0,11 ± 0,01	84 ± 3
Под кронами рябины	67 ± 3	0,15 ± 0,01	101 ± 4	76 ± 3	0,11 ± 0,01	84 ± 3
«Окна»	66 ± 5	0,15 ± 0,01	99 ± 3	82 ± 7	0,12 ± 0,01	98 ± 4
В среднем	66 ± 3	0,18 ± 0,03	119 ± 23	77 ± 2	0,12 ± 0,01	92 ± 9
Осиново-березовое насаждение						
Под кронами березы	70 ± 4	0,18 ± 0,02	126 ± 5	78 ± 4	0,11 ± 0,01	86 ± 3
Под кронами ели	68 ± 3	0,16 ± 0,01	109 ± 2	54 ± 3	0,15 ± 0,02	81 ± 3
Под кронами осины	65 ± 5	0,15 ± 0,01	98 ± 4	73 ± 2	0,11 ± 0,01	80 ± 4
Под кронами ивы	69 ± 3	0,14 ± 0,01	97 ± 3	79 ± 4	0,10 ± 0,01	79 ± 3
«Окна»	65 ± 2	0,15 ± 0,01	98 ± 3	81 ± 5	0,10 ± 0,01	81 ± 2
В среднем	67 ± 2	0,15 ± 0,01	108 ± 10	76 ± 4	0,11 ± 0,01	84 ± 3
Ельник						
Под кронами ели	50 ± 4	0,25 ± 0,03	125 ± 3	49 ± 5	0,24 ± 0,04	118 ± 4
Под кронами березы	56 ± 3	0,21 ± 0,03	118 ± 2	70 ± 6	0,19 ± 0,03	133 ± 2
«Окна»	61 ± 6	0,19 ± 0,01	116 ± 1	69 ± 3	0,18 ± 0,02	124 ± 1
В среднем	56 ± 4	0,22 ± 0,03	123 ± 3	63 ± 8	0,20 ± 0,04	129 ± 4
Поле	65 ± 5	0,14 ± 0,01	93 ± 3	82 ± 4	0,10 ± 0,01	82 ± 3

будут статистически значимы при $p < 0,05$. Это дает основания утверждать достоверность различий определяемых показателей снежного покрова между лиственными насаждениями и полем для конкретного года исследования. Такая разница в достоверности различий средних многолетних и годовых показателей между лиственными насаждениями и полем во многом обусловлена метеорологическими условиями и спецификой переноса воздушных масс на исследуемой территории [31]. Исследуемые годы существенно отличались по количеству твердых осадков, толщине и плотности снежного покрова (см. табл. 2).

Важным показателем, отражающим особенности накопления снежного покрова в лесу, является коэффициент снегонакопления $K_{\text{л}}$, который рассчитан как отношение снегозапасов в лесу к их значению в поле. Значение этого коэффициента в исследуемых лиственных насаждениях изменяется в зависимости от возраста древостоя и года исследования от 1 до 1,5 (рис. 3).

При этом в березово-еловом насаждении значение $K_{\text{л}}$ варьирует от 1,0 до 1,3, в осиново-березовом — от 1,0 до 1,5. По сравнению с листвен-

ными насаждениями, значение этого показателя в 2006 и 2009 гг. в ельнике выше и составляет 1,3 и 1,6 соответственно. Коэффициент $K_{\text{л}}$ в березово-еловом насаждении в большинстве случаев выше, чем в осиново-березовом. Довольно близкие значения этого коэффициента приводятся для лиственных лесов — от 1,30 до 1,70 [12] и для среднетаежных ельников Республики Коми — от 1,06 до 1,55 [6]. На значение $K_{\text{л}}$ наиболее существенное влияние оказывает таксационная характеристика древостоя [12]. В изучаемых лиственных лесах в связи с процессом послерубочной сукцессии за период с 2005 по 2020 г. изменились некоторые количественные таксационные характеристики древостоя (см. табл. 1).

Например, в период с 2005 по 2015 г. количество деревьев в древостое березово-елового насаждения увеличилось следующим образом: ели — в 1,5 раза, березы — в 2,5 раза, в осиново-березовом насаждении численность березы и осины уменьшилась, а ели — возросла в 2,5 раза (см. табл. 1). С увеличением возраста древостоев к 2020 г. увеличивается средний диаметр ствола, высота деревьев и запасы стволовой древесины

(см. табл. 1). Все перечисленные выше изменения в древостое лиственных насаждений, возможно, оказывают влияние на то, что коэффициент снегонакопления с возрастом, по мере формирования древостоя, менее изменчив (см. рис. 3).

Так, в березово-еловом молодняке в возрасте от 12 до 16 лет, показатель K_d изменяется от 1,0 до 1,3, а в возрасте от 17 до 27 лет — от 1,1 до 1,2 (см. рис. 3). Вероятно, это также связано с завершением стадии смыкания крон в молодняке к 15-летнему возрасту и увеличением количества деревьев в древостое. В осиново-березовом насаждении наблюдается схожая тенденция: в возрасте от 43 до 54 лет показатель K_d изменяется незначительно — от 1,04 до 1,18 (см. рис. 3), что, возможно, связано с переходом из стадии припевающего в стадию спелого древостоя. Немаловажным фактором, влияющим на величину K_d , являются подрост и подлесок. Как показано ранее, специфика березово-елового насаждения — это густой подрост и подлесок, которые за годы исследований насчитывают 22...28 тыс. шт./га, в осиново-березовом насаждении почти вдвое меньше — 11...16 тыс. шт./га [34, 35].

Возможно, за счет густого подроста и подлеска коэффициент K_d , несмотря на разницу в таксационных показателях и возрасте древостоев между исследуемыми лиственными насаждениями, различается не так существенно. Например, в марте 2006 г. значение коэффициента в осиново-березовом насаждении составило 1,1, в березово-еловом — 1,3, в 2015 и 2021 гг. в обоих насаждениях — около 1,2 (см. рис. 3). Между лиственными насаждениями и ельником различия более существенны. Согласно исследованиям, проведенным в 2009 г., в ельнике коэффициент снегонакопления составил 1,6, в 14-летнем березово-еловом — 1,1, в 41-летнем осиново-березовом насаждении — 1,0 (см. рис. 3). По-видимому, на величину коэффициента K_d влияют такие более значимые таксационные изменения, как доминирующая древесная порода, доля участия хвойных пород и возраст древостоя, вероятно, поэтому в ельнике коэффициент снегонакопления выше, чем в более молодых лиственных насаждениях.

В результате рубки леса характер снежного покрова изменяется. В первые годы на вырубке снежный покров практически схож с полем, затем по мере формирования лиственного молодняка (до 20 лет) основные физические характеристики снежного покрова изменяются незначительно, и позднее по мере роста лиственного древостоя (от 30 до 40 лет) происходят более существенные изменения [5, 6]. Однако, согласно полученным данным, различия в физических показателях снежного покрова по сравнению с полем в березово-еловом насаждении наблюдаются до дости-

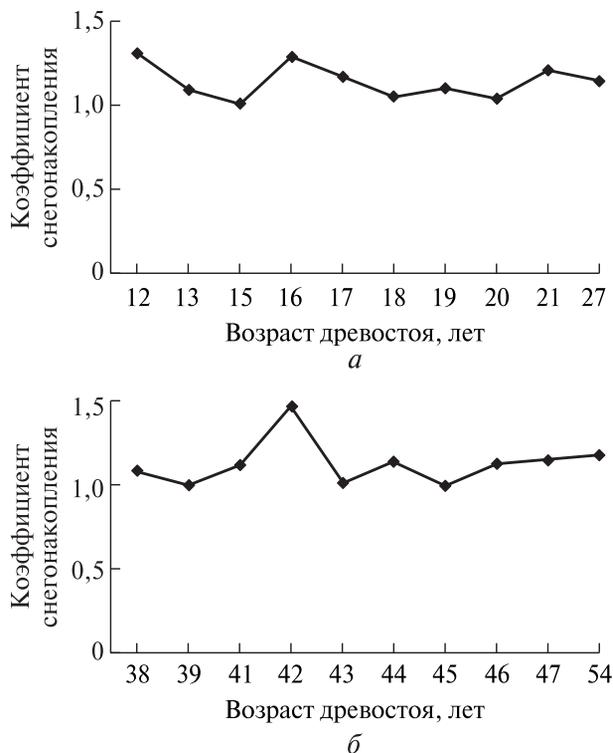


Рис. 3. Значение коэффициента снегонакопления в березово-еловом (а) и осиново-березовом (б) насаждениях разного возраста

Fig. 3. The value of the coefficient of snow accumulation in birch-spruce (a) and aspen-birch (b) stands of different ages

жения им 20-летнего возраста (2014) (см. рис. 1). Возможной причиной может быть наличие густого подроста и подлеска, о котором упоминалось выше, а также сукцессионные процессы, которые сопровождаются переходом древостоя от молодняка в стадию жердняка и завершением фазы смыкания крон в данном насаждении. Осиново-березовое насаждение в возрасте с 42 до 54 лет (2010–2021) оказывает более существенное влияние на запасы влаги в снежном покрове по сравнению с полем (см. рис. 1). Это может быть связано с развитием в этом возрасте елового яруса в древостое (см. табл. 1). Как известно, в березовых и елово-березовых фитоценозах он оказывает влияние на снеготопливы [6], поэтому увеличение разницы в показателях влагозапаса в снежном покрове осиново-березового насаждения по сравнению с полем в разном возрасте можно объяснить ростом густоты ели и ее снижением для осины и березы в результате естественного изреживания древостоя (см. табл. 1).

Выводы

Получены данные по основным физическим характеристикам снежного покрова в среднетаежных разновозрастных лиственных насаждениях послерубочного происхождения. Средние мно-

голетние значения толщины снежного покрова в исследуемых лиственных насаждениях составили 72...75 см, влагозапас около 140 мм, плотность 0,2 г/см³. Выявлено, что запас влаги в снежном покрове лиственных насаждений выше, чем в поле.

В пределах насаждений установлена вариативность показателей снежного покрова, что обусловлено воздействием отдельных видов древесных растений. Влияние древесных пород на снежный покров в исследуемых лиственных лесах послерубочного происхождения более выражено для ели, чем для лиственных пород. Рост и изменение таксационных характеристик древостоя в процессе естественного лесовозобновления отражаются на основных показателях снежного покрова.

На основании полученных данных рассчитано среднее многолетнее значение коэффициента снегонакопления ($K_{\text{д}}$) для среднетаежных лиственных насаждений послерубочного происхождения, которое составляет 1,1.

Полученные результаты имеют важное значение для исследований снежного покрова во вторичных лиственных лесах, дополняют данные исследований, проведенных ранее в подзоне средней тайги Республики Коми и актуальны в условиях изменяющегося климата.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке темы госзадания Института биологии Коми научного центра УрО РАН «Зональные закономерности динамики структуры и продуктивности первичных и антропогенно измененных фитоценозов лесных и болотных экосистем европейского северо-востока России» (№ 122040100031–8).

Выражаю благодарность сотрудникам отдела лесобиологических проблем Севера Института биологии Коми НЦ УрО РАН

Список литературы

- [1] Быков Н.И., Попов Е.С. Наблюдения за динамикой снежного покрова в ООПТ Алтае-Саянского экорегиона. Красноярск: Типография «Город», 2011. 64 с.
- [2] Solantie R. Snow and soil frost in Finnish forests: ecological interdependencies between climate, flora, fauna and early culture in the province of Uusimaa // *Silva Fennica*, 1993, v. 27 (4), pp. 295–301.
- [3] Kellomäli S., Maajärvi M., Strandman H., Kilpeläinen A., Peltola H. Model computations on the climate change effects on snow cover, soil moisture and soil frost in the boreal conditions over Finland // *Silva Fennica*, 2010, v. 44(2), pp. 213–233.
- [4] Харченко Н.Н., Моисеева Е.В., Прохорова Н.Л. Анализ среднегодовой высоты снежного покрова на территории Сибирского федерального округа в условиях климатических изменений // *Арктика: инновационные технологии, кадры, туризм*, 2020. № 1 (2). С. 626–631.
- [5] Кузьмин П.П. Формирование снежного покрова и методы определения снегозапасов. М.: Гидрометеиздат, 1960. 171 с.
- [6] Гидрологическая роль лесных геосистем. Новосибирск: Наука, 1989, 167 с.
- [7] Китаев Л.М., Желтухин А.С., Коробов Е.Д., Аблеева В.А. Снежный покров: особенности локального распределения в лесных массивах как возможный источник погрешностей спутниковых данных // *Известия Российской академии наук. Серия географическая*, 2020. Т. 84. № 6. С. 855–863.
- [8] Крючков А.Д. Оценка изменчивости высоты снежного покрова по данным стационарных и ландшафтно-маршрутных наблюдений в Пермском крае // *Дневник науки*, 2023. № 7 (79). С. 1–17.
- [9] Евсенкин К.Н., Ильинский А.В. Многолетняя динамика запасов воды в снежном покрове лесного массива Рязанской Мещеры // *Евразийский союз ученых*, 2020. № 4-5 (73). С. 24–27.
- [10] Vajda A., Venäläinen A., Hänninen P&Sutinen R. Effect of vegetation on snow cover at the Northern Timberline: a case study in Finnish Lapland // *Silva Fennica*, 2006, v. 40 (2), pp. 195–207.
- [11] Zubizarreta-Gerendain A., Pellikka P., Garsia-Gonzalo J., Ironen V.-P., Peltola H. Factors affecting wind and snow damage of individual trees in a small management unit in Finland: assessment based on inventoried damage and mechanistic modeling // *Silva Fennica*, 2012, 46 (2), pp. 181–196.
- [12] Сосновский А.В., Осокин Н.И., Черняков Г.А. Динамика снегозапасов на равнинной территории России в лесу и в поле при климатических изменениях // *Лед и снег*, 2018. Т. 58. № 2. С. 183–190.
- [13] Ашабоков Б.А., Ташилова А.А., Кешева Л.А. Изменения характеристик снежного покрова на юге ЕТР как отклик глобального потепления // *Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова*, 2019. № 592. С. 141–158.
- [14] Brown R. D., Fang B., Mudryk L. Update of Canadian Historical Snow Survey Data and Analysis of Snow Water Equivalent Trends, 1967–2016 // *Atmosphere-Ocean*, 2019, no. 57(2), pp. 149–156. <https://doi.org/10.1080/07055900.2019.1598843>
- [15] Атлас Коми АССР. М.: Главное управление геодезии и картографии государственного геологического комитета СССР, 1964. 112 с.
- [16] Соколов А.А. О чем шумит русский лес. Л.: Гидрометеиздат, 1962. 96 с.
- [17] Крестовский О.И. Влияние вырубок и восстановления лесов на водность рек. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 119 с.
- [18] Паутов Ю., Боровлев А. Оценка долговременного воздействия сплошных рубок леса на водные ресурсы в средней подзоне тайги Республики Коми // *Бизнес и устойчивое лесопользование*, 2020. № 1 (80). С. 10–16.
- [19] Братцев С.А. Влияние вырубок леса на водный баланс территории Коми АССР // *Труды Коми филиала АН СССР*, 1982. № 50. С. 45–57.
- [20] Василевич М. И., Щанов В. М. Пространственная и временная дифференциация параметров снежного покрова в таежной зоне Европейского северо-востока России // *Криосфера Земли*, 2023. Т. XXVII. № 2. С. 45–54.
- [21] ОСТ 56-69-83. Пробные площади лесоустроительные. Метод закладки. М.: Изд-во ЦБНТИ гослесхоза СССР, 1983. 60 с.
- [22] Лесотаксационный справочник для Северо-Востока европейской части СССР (нормативные материалы для Архангельской, Вологодской областей и Коми АССР). Архангельск: АИЛ и ЛХ, 1986. 558 с.

- [23] Коренные еловые леса Севера: биоразнообразие, структура, функции. СПб.: Наука, 2006. 337 с.
- [24] Атлас Республики Коми по климату и гидрологии. М.: Дрофа, Изд-во «Д и К», 1997. 116 с.
- [25] Novakovskiy A.B., Elsakov V.V. Hydrometeorological Database (HMDB) for Practical Research in Ecology // Data Science J., 2014, v. 13, pp. 57–63. DOI: 10.2481/dsj.IFPDA-10
- [26] ГОСТ 17.1.5.05–85 «Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб поверхностных и морских вод, льда и атмосферных осадков». М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1986, 15 с.
- [27] Формозов А.Н. Снежный покров в жизни млекопитающих и птиц. М.: Изд-во МГУ, 1990, 287 с.
- [28] Быков Н. И., Шигимага А. А., Рыгалова Н. В. Снежный покров как фактор роста годичных колец деревьев в контрастных природных условиях Западно-Сибирской равнины // Лед и снег, 2023, Т. 63. № 2. С. 243–256.
- [29] Осокин И.М. География снежного покрова востока Забайкалья. Чита: Забайкальский филиал географического общества СССР, 1969. 192 с.
- [30] Лубенец Л.Ф., Черных Д.В. Внутриландшафтное распределение снегозапасов в бас. Р. Майма (низкогорье Русского Алтая) // Лед и снег, 2019. Т. 59. № 3. С. 319–332.
- [31] Василевич М.И., Щанов В.М. Пути переноса воздушных масс, поступающих на особо охраняемые природные территории Европейского Северо-Востока России по данным HYSPLIT // Метеорология и гидрология, 2020. № 1. С. 100–109.
- [32] Komarov A.Y., Seliverstov Y.G., Grebennikov P.B., Sokratov S.A. Spatial variability of snow water equivalent – the case study from the research site in Khibiny Mountains // J. Hydrol. and Hydromech., 2019, v. 67, no. 1, p. 110–112.
- [33] Комаров А.Ю. Влияние растительности и микрорельефа на стратиграфию снежного покрова в Подмоскovie // Вестник Московского ун-та. Сер. 5. География, 2021. № 6. С. 77–88.
- [34] Пристова Т.А. Фитомасса древесных растений в листовых фитоценозах послерубочного происхождения // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020, Т. 24. № 1. С. 5–13. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-1-5-13
- [35] Пристова Т.А. Динамика древесной растительности в листовых насаждениях послерубочного происхождения (подзона средней тайги Республики Коми) // Принципы экологии, 2019. № 3. С. 63–73. DOI: 10.15393/j1.art.2019.9142

Сведения об авторе

Пристова Татьяна Александровна — канд. биол. наук, науч. сотр., ФГБУН «Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук» (отдел лесобиологических проблем Севера), pristova@ib.komisc.ru

Поступила в редакцию 12.01.2023.

Одобрено после рецензирования 24.04.2023.

Принята к публикации 05.12.2023.

WOODY VEGETATION INFLUENCE ON SNOW COVER (MIDDLE TAIGA OF KOMI REPUBLIC)

T.A. Pristova

Institute of Biology of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (IB FRC Komi SC UB RAS), 28, Kommunisticheskaya st., 167982, Syktyvkar, Komi Republic, Russia

pristova@ib.komisc.ru

The article considers the physical parameters of snow cover — thickness, density and snow water equivalent in the middle taiga deciduous forests of different ages of post-harvest origin. The studies were carried out in the third decade of March in the winter of 2005–2015 and 2020–2021 at permanent plots. The taxation parameters and their dynamics for the studied stands are presented. The dependence of snow cover parameters on the species of woody plant and meteorological conditions of the year is shown. The average long-term values of the snow cover thickness within the birch-spruce forest were 75 ± 9 , in the aspen-birch forest — 72 ± 7 , in the open place — 70 ± 10 cm. Over the years of research, the average height of snow cover within the birch-spruce stand varied from 62 ± 3 to 97 ± 2 cm, in the aspen-birch stand from 48 ± 2 to 92 ± 3 cm. The height of the snow cover measured at the same time within the deciduous stands is uneven, which is due to the complex composition of the stand. Data on the influence of woody plant species on the height of snow cover are presented. Snow water equivalent in the snow cover of deciduous forests vary from 81 ± 3 mm to 191 ± 4 mm with average long-term values of about 140 mm. The average value of the snow cover density over the years of deciduous stands is about $0,2 \text{ g/cm}^3$. The density and water equivalent in the snow cover in deciduous forests is higher than in the open place. The snow accumulation coefficient in snow cover of the studied deciduous forests varies from 1,0 to 1,5. The results of the research make it possible to analyze between the change in forest stand taxation parameters and the dynamics of physical parameters of snow cover in deciduous forests of post-cutting origin, contribute to modern studies of the influence of woody vegetation on snow cover, and can also be used in hydrological calculations when assessing the effect of snow cover on river runoff.

Keywords: snow cover, taiga, moisture reserve, snow height and density, deciduous forests of post-harvest origin

Suggested citation: Pristova T.A. *Vliyaniye drevesnoy rastitel'nosti na fizicheskie pokazateli snezhnogo pokrova sredney taygi Respubliki Komi* [Woody vegetation influence on snow cover (middle taiga of Komi Republic)]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2024, vol. 28, no. 1, pp. 68–79. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-1-68-79

References

- [1] Bykov N.I., Popov E.S. *Nablyudeniya za dinamikoyn snezhnogo pokrova v OOPT Altae-Sayanskogo ekoregiona* [Observations on the dynamics of snow cover in the protected areas of the Altai-Sayan ecoregion]. Krasnoyarsk: Tipografiya «Gorod», 2011, 64 p.
- [2] Solantie R. Snow and soil frost in Finnish forests: ecological interdependencies between climate, flora, fauna and early culture in the province of Uusimaa. *Silva Fennica*, 1993, v. 27 (4), pp. 295–301.
- [3] Kellomäli S., Maajärvi M., Strandman H., Kilpeläinen A., Peltola H. Model computations on the climate change effects on snow cover, soil moisture and soil frost in the boreal conditions over Finland. *Silva Fennica*, 2010, v. 44(2), pp. 213–233.
- [4] *Kharchenko N.N., Moiseeva E.V., Prokhorova N.L. Analiz srednegodovoy vysoty snezhnogo pokrova na territorii Sibirskogo federal'nogo okruga v usloviyakh klimaticheskikh izmeneniy* [Analysis of the average annual snow cover height on the territory of the Siberian Federal District under conditions of climatic changes]. *Arktika: innovatsionnye tekhnologii, kadry, turizm*, 2020, no. 1 (2), pp. 626–631.
- [5] Kuz'min P.P. *Formirovanie snezhnogo pokrova i metody opredeleniya snegozapasov* [Physical properties of snow cover]. Leningrad: Hydrometeoizdat, 1957, 179 p.
- [6] *Gidrologicheskaya rol' lesnykh geosistem* [The hydrological role of forest geosystems]. Novosibirsk: Nauka, Siberian Branch, 1989, 167 p.
- [7] Kitaev L.M., Zheltukhin A.S., Korobov E.D., Ableeva V.A. *Snezhnyy pokrov: osobennosti lokal'nogo raspredeleniya v lesnykh massivakh kak vozmozhnyy istochnik pogreshnostey sputnikovyykh dannykh* [Snow cover: features of local distribution in forests as a possible source of satellite data errors]. *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Seriya geograficheskaya*, 2020, t. 84, no. 6, pp. 855–863.
- [8] Kryuchkov A.D. *Otsenka izmenchivosti vysoty snezhnogo pokrova po dannym statsionarnyykh i landshafino-marshrutnykh nablyudeniy v Permskom krae* [Assessment of the variability of snow cover height according to stationary and landscape route observations in the Perm Region]. *Dnevnik nauki*, 2023, no. 7 (79), pp. 1–17.
- [9] Evsenkin K.N., Il'inskiy A.V. *Mnogoletnyaya dinamika zapasov vody v snezhnom pokrove lesnogo massiva Ryazanskoy Meshchery* [Long-term dynamics of water reserves in the snow cover of the Ryazan Meschera forest]. *Evraziyskiy soyuz uchenykh*, 2020, no. 4–5 (73), pp. 24–27.
- [10] Vajda A., Venäläinen A., Hänninen P&Sutinen R. Effect of vegetation on snow cover at the Northern Timberline: a case study in Finnish Lapland. *Silva Fennica*, 2006, v. 40 (2), pp. 195–207.
- [11] Zubizarreta-Gerendain A., Pellikka P., Garsia-Gonzalo J., Ironen V.-P., Peltola H. Factors affecting wind and snow damage of individual trees in a small management unit in Finland: assessment based on inventoried damage and mechanistic modeling. *Silva Fennica*, 2012, 46 (2), pp. 181–196.
- [12] Sosnovskiy A.V., Osokin N.I., Chernyakov G.A. *Dinamika snegozapasov na ravninnoy territorii Rossii v lesu i v pole pri klimaticheskikh izmeneniyakh* [Dynamics of snow cover on the plains of Russia in the woods and in the field under climatic changes]. *Led i sneg*, 2018, v. 58 (2), pp. 183–190.
- [13] Ashabokov B.A., Tashilova A.A., Kesheva L.A. *Izmeneniya kharakteristik snezhnogo pokrova na yuge ETR kak otklik global'nogo potepleniya* [Changes in snow cover characteristics in the south of the ETR as a response to global warming]. *Trudy Glavnoy geofizicheskoy observatorii im. A.I. Voeykova*, 2019, no. 592, pp. 141–158.
- [14] Brown R.D., Fang B., Mudryk L. Update of Canadian Historical Snow Survey Data and Analysis of Snow Water Equivalent Trends, 1967–2016. *Atmosphere-Ocean*, 2019, 57(2), pp. 149–156. <https://doi.org/10.1080/07055900.2019.1598843>
- [15] *Atlas Komi ASSR*. [Atlas of Komi ASSR]. Moscow: Glavnoe upravlenie geodezii i kartografii gosudarstvennogo geologicheskogo komiteta SSSR, 1964, 112 p.
- [16] Sokolov A.A. *O chem shumit russkiy les* [What the Russian forest is noisy about]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1962, 96 p.
- [17] Krestovskiy O.I. *Vliyanie vyrubok i vosstanovleniya lesov na vodnost' rek* [The influence of deforestation and reforestation on the water content of rivers]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1986, 119 p.
- [18] Pautov Yu., Borovlev A. *Otsenka dolgovremennogo vozdeystviya sploshnykh rubok lesa na vodnye resursy v sredney podzone taygi Respubliki Komi* [Assessment of the long-term impact of continuous logging on water resources in the middle taiga subzone of the Komi Republic]. *Biznes i ustojchivoe lesopol'zovanie*, 2020, no. 1 (80), pp. 10–16.
- [19] Brattsev S.A. *Vliyanie vyrubok lesa na vodnyy balans territorii Komi ASSR* [The impact of deforestation on the water balance of the Komi ASSR territory]. *Trudy Komi nauchnogo centra AN SSSR*, 1982, no. 50, pp. 45–57.
- [20] Vasilevich M.I., Shchanov V.M. *Prostranstvennaya i vremennaya differentsiatsiya parametrov snezhnogo pokrova v taezhnoy zone Evropeyskogo severo-vostoka Rossii* [Spatial and temporal differentiation of snow cover parameters in the taiga zone of the European Northeast of Russia]. *Kriosfera Zemli*, 2023, t. XXVII, no. 2, pp. 45–54.
- [21] *OST 56-69-83. Probnye ploschadi lesoustroitel'nye. Metod zakladki* [Trial areas are forest management. Method of laying]. Moscow: CBNTI gosleskhoza SSSR, 1983, 60 p.
- [22] *Lesotaksatsionnyy spravochnik dlya severo-vostoka evropeyskoy chasti SSSR (normativnye materialy dlya Arkhangel'skoy, Vologodskoy oblastey i Komi ASSR)* [Forest tax reference book for the North-East of the European part of the USSR (normative materials for the Arkhangelsk, Vologda regions and Komi ASSR)]. Arhangel'sk: AIL I LH, 1986, 558 p.
- [23] *Korennye elovye lesa Severa: bioraznoobrazie, struktura, funktsii*. [Virgin spruce forest of North: biodiversity, structure, functions]. St. Petersburg: Nauka, 2006, 337 p.
- [24] *Atlas Respubliki Komi po klimatu i gidrologii* [Atlas of the Komi Republic on climate and hydrology]. Moscow: Drofa, Publishing house «D and K», 1997, 116 p.
- [25] Novakovskiy A.B., Elsakov V.V. Hydrometeorological Database (HMDB) for Practical Research in Ecology. *Data Science J.*, 2014, v. 13, pp. 57–63. DOI: 10.2481/dsj.IFPDA-10
- [26] *GOST 17.1.5.05-85 «Okhrana prirody. Gidrosfera. Obshchie trebovaniya k otboru prob poverkhnostnykh i morskikh vod, l'da i atmosferykh osadkov»* [State standard 17.1.5.05-85 «Nature protection. Hydrosphere. General requirements for sampling surface and sea waters, ice and precipitation»]. Moscow: USSR State Committee on Standards, 1986, 15 p.
- [27] Formozov A.N. *Snezhnyy pokrov v zhizni mlekopitayushchikh i ptits* [Snow cover in the life of mammals and birds]. Moscow: Publishing House of Moscow State University, 1990, 287 p.

- [28] Bykov N. I., Shigimaga A. A., Rygalova N. V. *Snezhnyj pokrov kak faktor rosta godichnyh kolec derev'ev v kontrastnykh prirodnnykh usloviyakh Zapadno-Sibirskoy ravniny* [Snow cover as a growth factor of annual tree rings in contrasting natural conditions of the West Siberian plain]. *Led i sneg*, 2023, T. 63. № 2. pp. 243-256.
- [29] Osokin I.M. *Geografiya snezhnogo pokrova vostoka Zabaykal'ya* [Geography of the snow cover of the east of Transbaikalia]. Chita: Zabaykal'skiy filial geograficheskogo obshchestva SSSR, 1969, 192 p.
- [30] Lubenets L.F., Chernykh D.V. *Vnutrilandshaftnoe raspredelenie snegozapasov v bas. R. Maima (nizkogor'e Russkogo Altaia)* [Intra-landscape distribution of snow reserves in the bas. River Maima (low mountains of the Russian Altai)]. *Led i sneg*, 2019, t. 59, no. 3, pp. 319–332.
- [31] Vasilevich M.I., Shchanov V.M. *Puti perenosa vozdukhnykh mass, postupayushchikh na osobo okhranyaemye prirodnye territorii Evropeyskogo Severo-Vostoka Rossii po dannym HYSPLIT* [Ways of transferring air masses entering specially protected natural territories of the European Northeast of Russia according to HYSPLIT data]. *Meteorologiya i gidrologiya*, 2020, no. 1, pp. 100–109.
- [32] Komarov A.Y., Seliverstov Y.G., Grebennikov P.B., Sokratov S.A. Spatial variability of snow water equivalent – the case study from the research site in Khibiny Mountains. *J. Hydrol. and Hydromech.*, 2019, v. 67, no. 1, pp. 110–112.
- [33] Komarov A.Yu. *Vliyaniye rastitel'nosti i mikrorel'efa na stratigrafiyu snezhnogo pokrova v Podmoskov'e* [The influence of vegetation and microrelief on the stratigraphy of snow cover in the Moscow region]. *Vestnik Moskovskogo un-ta. Ser. 5. Geografiya*, 2021, no. 6, pp. 77–88.
- [34] Pristova T.A. *Fitomassa drevesnykh rasteniy v listvennykh fitotsenozakh poslerubochnogo proiskhozhdeniya* [Phytomass of woody plants in post-harvest origin deciduous forests]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 1, pp. 5–13. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-1-5-13
- [35] Pristova T.A. *Dinamika drevesnoy rastitel'nosti v listvennykh nasazhdeniyakh poslerubochnogo proiskhozhdeniya (podzona sredney taygi Respubliki Komi)* [Dynamics of woody vegetation in deciduous plantations of post-harvest origin (subzone of the middle taiga of the Komi Republic)]. *Principy ekologii*, 2019, no. 3, pp. 63–73. DOI: 10.15393/j1.art.2019.9142

Acknowledgments

This work was financially supported by the state task of the Institute of Biology of the Komi Scientific Centre of the Ural RAS Department «Zonal regularities of dynamics of structure and productivity of primary and anthropogenically modified phytocenoses of forest and bog ecosystems of the European North-East of Russia» (No. 122040100031-8).

I express my gratitude to the staff of the Department of Forest Biological Problems of the North of the Institute of Biology of the Komi Scientific Centre of the Ural Branch of the RAS

Author's information

Pristova Tat'yana Aleksandrovna — Cand. Sci. (Biology), Researcher, Institute of Biology of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, pristova@ib.komisc.ru

Received 12.01.2023.

Approved after review 24.04.2023.

Accepted for publication 05.12.2023.

РЕГИОНАЛЬНАЯ КОМПОНЕНТА В ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА

А.Н. Гриднев¹✉, О.В. Храпко², Н.В. Гриднева¹

¹ФГБОУ ВО «Приморский государственный аграрно-технологический университет», Россия, 692510, г. Уссурийск, пр-т Блюхера, д. 44

²ФГБУН «Ботанический сад-институт Дальневосточного отделения Российской академии наук», Россия, 690024, г. Владивосток, ул. Маковского, д. 142

gridnevan1956@mail.ru

На примере Приморского государственного аграрно-технологического университета показано использование региональной компоненты в образовательном процессе для подготовки специалистов высшего звена, нацеленных на организацию ведения лесного хозяйства согласно принципам неистощительности и рациональности использования лесных ресурсов.

Ключевые слова: высшее лесное образование, образовательный процесс, региональная компонента

Ссылка для цитирования: Гриднев А.Н., Храпко О.В., Гриднева Н.В. Региональная компонента в подготовке специалистов лесного хозяйства // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2024. Т. 28. № 1. С. 80–88.

DOI: 10.18698/2542-1468-2024-1-80-88

Согласно Лесному кодексу Российской Федерации [1] лес, с одной стороны — это экологическая система, с другой — природный ресурс, поэтому важнейшее значение в экономическом развитии страны, обеспечении ее экологической безопасности имеет подготовка профессиональных кадров по специальностям лесного хозяйства, в полной мере владеющими инструментами, методами, подходами к решению проблем на современном уровне, которые будут учитывать и использовать имеющийся опыт. В формировании таких кадров ведущую функцию выполняет высшая школа, основная цель которой — подготовка высококвалифицированных специалистов. Достижение этой цели возможно лишь при развитии в вузах современных образовательных программ с включением в них региональной компоненты, что позволит будущим специалистам учитывать специфику региона и эффективно решать поставленные перед ними задачи.

На Дальнем Востоке России проблема подготовки специалистов лесного хозяйства стоит достаточно остро, поскольку дальневосточный лес характеризуется специфическими особенностями и является одним из наиболее ценных ресурсов не только Дальневосточного федерального округа (ДФО) России, но всей страны. Обобщение литературных материалов [2, 3 и др.] показывает, что на территории ДФО сосредоточено чуть менее половины площади лесов и немногим менее трети запаса древесины всей страны (табл. 1).

Преобладающая часть дальневосточных лесных угодий занята хвойными породами, из

которых наиболее распространенной является лиственница. Существенно меньшую площадь занимают елово-пихтовые леса, незначительная доля приходится на кедрово-широколиственные леса. Они произрастают на юге ДФО и определяются как самые ценные. Из лиственных пород доминирует белая и каменная береза. Доля площадей, занятых другими лиственными породами, значительно меньше. Запасы древесины дальневосточных лесов оцениваются в 25,7 млрд м³, в том числе хвойных пород — 17,1 млрд м³, лиственных — 2,3 млрд м³.

Согласно Лесному кодексу РФ [1], лесное законодательство и иные регулирующие лесные отношения нормативные правовые акты должны основываться на основных принципах, среди которых устойчивое управление лесами, сохранение их биологического разнообразия, повышение ресурсного потенциала. Следует также отметить богатство дальневосточной лесной флоры и фауны. Так, из 23 505 видов высших растений, произрастающих на территории РФ, более 4000 распространены на Дальнем Востоке, из них 335 видов древесных растений, т. е. более половины российской дендрофлоры [4]. В состав дальневосточных лесных сообществ входит значительное число редких видов растений и животных, внесенных в региональные Красные книги [5–18] и требующих первоочередных мер охраны (табл. 2).

Все изложенное выше подтверждает уникальность дальневосточных лесов и их важное значение, обуславливая разработку рациональных методов управления такими лесами, их сохранения и возобновления. Поэтому подготовка специ-

Т а б л и ц а 1

Распределение лесного фонда по административным районам ДФО

Distribution of the forest area by administrative regions of FEFD

Административный район	Площадь земель лесного фонда и земель иных категорий, на которых расположены леса, тыс. га		Лесистость территории, %	Общий запас древесины, млн м ³
	всего	покрытая лесом		
Республика Саха (Якутия)	256 096	157 892	51,2	8935,7
Республика Бурятия	29 632	22 301	63,5	2226,4
Камчатский край	46 080	19 835	42,7	1223,8
Приморский край	13 380	12 832	77,9	1936,7
Хабаровский край	75 546	52 533	66,7	5178,4
Забайкальский край	34 090	29 475	68,3	2707,4
Амурская область	31 470	23 522	65,0	2053,4
Магаданская область	45 600	17 281	37,4	475,4
Сахалинская область	7356	5896	67,7	638,9
Чукотский автономный округ	27 738	4910	6,8	84,5
Еврейская автономная область	2257	1649	45,4	201,3
Итого по ДФО	569 245	348 126	48,0	25 661,9
Всего по РФ	1 183 257	797 137	46,6	83 386,3
Доля ДФО от РФ, %	48,1	43,7	–	30,8

алистов для лесного хозяйства должна предусматривать их компетенции в сферах региональных дальневосточных особенностей и многообразия лесных ресурсов данного региона. Курсы лекций для обучающихся по данному направлению следует основывать как на обобщении накопленного в лесной дальневосточной отрасли опыта, так и на использовании современных знаний.

Цель работы

Цель работы — обобщение накопленного опыта и проведение анализа использования региональных материалов при подготовке специалистов лесного хозяйства в Институте лесного и лесопаркового хозяйства (ИЛХ) Приморского государственного аграрно-технологического университета.

Материалы и методы

В работе был обобщен педагогический опыт, проанализированы литературные источники по этой теме, материалы лекционных курсов, практических занятий, учебных пособий и учебно-методических программ, а также защищенные выпускные квалификационные работы.

Результаты и обсуждение

Необходимость распространения знаний о лесном хозяйстве в ДФО и их адаптация к местным условиям, развитие собственной научной лесохозяйственной школы признавалась государством и просвещенной интеллигенцией с начала освоения и заселения Дальнего Востока. Формирование предпосылок к возникновению лесохозяйственной деятельности непосредственно на Дальнем

Т а б л и ц а 2

Число видов, внесенных в Красные книги, по административным районам ДФО

Number of Red Data Book species by administrative districts of FEFD

Административный район	Растения		Животные	
	всего	произрастающие в лесу	всего	обитающие в лесу
Республика Саха (Якутия)	337	125	134	39
Республика Бурятия	282	78	185	49
Камчатский край	285	64	126	36
Приморский край	419	157	284	86
Хабаровский край	310	135	161	48
Забайкальский край	248	85	208	38
Амурская область	266	107	153	37
Магаданская область	156	40	113	59
Сахалинская область	265	131	155	45
Чукотский автономный округ	166	23	88	6
Еврейская автономная область	176	101	85	29
Итого по ДФО	2910	1046	1692	472
Доля, %	100	36	100	28

Востоке осуществляется по двум взаимосвязанным направлениям: организации государством специального образования и созданию региональной лесной науки.

В 1923 г. во Владивостоке произошло слияние Читинского университета с Государственным Дальневосточным университетом (ГДУ), ознаменовавшее появление новых факультетов — агрономического с отделениями сельского и лесного хозяйства и педагогического. В ГДУ сосредоточились крупные научные силы в лице выпускников Петроградского лесного института (в 1924 г. переименован в Ленинградский лесной институт, с 2016 г. — ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова») и другие выдающиеся ученые. В 1930 г. во Владивостоке организован Дальневосточный лесотехнический институт, в котором было два факультета — лесохозяйственный и лесотехнический, в 1932 г. переведен в Хабаровск, в 1934 г. реорганизован в лесотехнический факультет Дальневосточного политехнического института г. Владивостока, что специалистами оценивается как непродуманный акт, нанесший ущерб лесному хозяйству Дальнего Востока. И только через четверть века в Приморском крае вновь открывается учебное заведение, которое стало готовить специалистов лесного хозяйства для всего Дальнего Востока, в настоящее время это — Приморский государственный аграрно-технологический университет (ПГАТУ) в городе Уссурийск.

Приморский государственный аграрно-технологический университет (до 1958 г. — это Ворошиловский сельскохозяйственный институт, до 1995 г. — Приморский сельскохозяйственный институт (ПСХИ), до 2022 г. — Приморская государственная сельскохозяйственная академия (ПГСХА)) был создан на базе Ярославского сельскохозяйственного института, который в 1957 г. из Ярославля был переведен г. Ворошилов (г. Уссурийск). С 1958 г. на лесохозяйственном факультете ПСХИ началась подготовка инженеров лесного хозяйства, позднее (1997 г.) лесохозяйственный факультет был преобразован в Институт лесного и лесопаркового хозяйства (ИЛХ) и вошел в состав ПГСХА. С переходом ПГСХА в 2011 г. на двухуровневое образование в ИЛХ стали готовить бакалавров и магистров лесного дела. В настоящее время бакалавры обучаются по направлению 35.03.01 «Лесное дело» по трем профилям — лесное хозяйство, лесное охотоведение и лесопарковое хозяйство, магистры — по направлению 35.04.01 «Лесное дело», профиль лесоведение, лесоводство, учет лесных ресурсов. Таким образом, подготовкой специалистов высшей квалификации сотрудники ПГАТУ занимаются более 60 лет. За этот период накоплен богатейший опыт в деле подготовки специалистов лесного профиля для Дальнего Востока с учетом региональных особенностей.

Качественное лесное образование на региональном уровне невозможно без отраслевой науки, поэтому в 1939 г. по распоряжению Наркомлеса СССР был создан Дальневосточный научно-исследовательский институт лесного хозяйства (ДальНИИЛХ). За 80 лет его сотрудниками опубликовано 39 сборников трудов, более 100 книг и почти столько же брошюр, более 250 рекомендаций производству и методических пособий, около 4400 научных и научно-практических статей, защищено 75 авторских свидетельств и 22 патента. В публикациях и научных разработках ДальНИИЛХ красной нитью проходит адаптация материалов к региональной специфике, их нацеленность на интенсификацию использования и воспроизводства лесных ресурсов Дальнего Востока [19], на разработку методов рационального освоения лесов [20, 21] и противопожарное обустройство территории лесного фонда [22, 23], на внедрение современных методов лесовосстановления [24, 25] и охрану лесов от вредителей [26]. Особое внимание уделяется совершенствованию способов и методов учета лесных ресурсов. Для некоторых древесных пород, для которых отсутствовала нормативная база, разработаны таблицы объемов стволов и товарные таблицы [27, 28]. В последнем издании Справочника для учета лесных ресурсов [29] сотрудниками ДальНИИЛХ опубликовано 345 наименований нормативно-справочных материалов для 12 хвойных и 38 лиственных пород, произрастающих в различных регионах Дальнего Востока. Кроме того, были изучены биологически активные вещества дальневосточных лесных растений и комплексное использование недревесных, пищевых и лекарственных продуктов леса [30].

Полученные в ДальНИИЛХ материалы находят применение при разработке отраслевых нормативно-правовых актов (Правила заготовки древесины, Правила ухода за лесами и др.). Богатый опыт, накопленный сотрудниками ДальНИИЛХ, результаты их исследований включены в учебный процесс подготовки специалистов лесного хозяйства в ИЛХ. В материалах лекций, при проведении практических занятий, подготовке учебных и учебно-методических пособий используются результаты исследований, полученные сотрудниками академических учреждений, в том числе описание морфологического строения и эколого-биологических особенностей дальневосточных древесно-кустарниковых пород [31, 32]. В других работах [33, 34] приведена характеристика семян дальневосточных пород, даны рекомендации по их размножению и выращиванию. Эти данные позволяют обучающимся успешнее осваивать приемы и методы создания питомников по выращиванию посадочного материала и созданию лесных культур.

Научные исследования проводятся непосредственно в ИЛХ, как сотрудниками, так и студентами, обучающимися под их руководством. Эти научные исследования охватывают практически все проблемные вопросы (создание лесных культур, улучшение свойств лесов, организация питомников и др.), касающиеся специфики лесохозяйственной деятельности в ДФО, что, несомненно, сказывается на качестве подготовки специалистов лесного дела. Разнообразие направлений исследований является хорошей базой для проведения практик, углубления теоретических знаний, приобретения практических навыков по всем специальным дисциплинам и объединяет изучаемые дисциплины.

Результаты исследований публикуются в научном журнале «Аграрный вестник Приморья», издаваемым ПГАТУ. Основной целью журнала является освещение и распространение информации о новейших средствах, технических объектах и технологиях для агропромышленного и лесохозяйственного комплексов страны, а также содействие повышению качества подготовки специалистов для отраслей производства и переработки сельскохозяйственной продукции. Ежегодно ПГАТУ проводит научно-практические конференции, материалы докладов которых отражают достижения дальневосточной лесной науки. Публикации, содержащиеся в различных выпусках «Аграрного вестника Приморья» и материалах конференций, построенные на данных региональных исследований, оказывают существенную помощь при подготовке курсовых и выпускных квалификационных работ, изучении специальных дисциплин по лесным культурам, лесоводству, лесной пирологии, лесной таксации и лесоустройству.

Обобщение накопленных и современных данных, результатов собственных исследований положено в основу научных статей, монографий и других публикаций, подготовленных сотрудниками ИЛХ ПГАТУ, которые отражают зональные особенности лесохозяйственной деятельности в дальневосточном регионе [35, 36]. Они используются в учебном процессе, при самостоятельной подготовке студентов и при написании выпускных квалификационных работ. В содержание лекций, лабораторных и практических занятий включаются как общероссийские, так и региональные материалы по проблемам освоения лесов Дальнего Востока [37, 38], по вопросам охраны лесов от пожаров [39, 40], созданию лесных культур [41, 42], проведению лесохозяйственных мероприятий и организации различных пользований в лесу [43, 44]. Большое значение для процесса обучения имеет учебная литература, подготовленная на региональном материале [45, 46].

Обучающиеся в ИЛХ ПГАТУ получают знания не только по направлениям, связанным с лесным хозяйством, но и по ландшафтному проектированию и ландшафтной архитектуре. Основой используемых материалов для обучения по данной тематике являются учебные пособия [47, 48], подготовленные с учетом региональных особенностей Дальнего Востока.

Одной из важнейших задач подготовки специалистов для лесного хозяйства в условиях Дальнего Востока, является подкрепление теоретического материала практическими примерами, разработка и решение различных модельных ситуаций в целях нахождения оптимальных вариантов в заданных производственных ситуациях. Большую помощь в решении данной задачи оказывает опытный материал, собранный в системе производственных работ, проводимых в лесничествах, филиалах Российского центра защиты леса и Рослесинфорга на основании научных исследований сотрудников ИЛХ ПГАТУ. Закрепление теоретических и практических знаний, приобретение профессиональных навыков происходит при прохождении обучающимися учебно-научной и производственной практик на базе лесного участка (28,83 тыс. га), имеющегося в распоряжении ПГАТУ [49]. Здесь обучающиеся получают практические навыки, знакомятся с передовыми приемами выращивания посадочного материала и создания лесных культур в условиях специфического климата региона. Привлечение обучающихся к полевым экспериментам позволяет расширить их знания, научить анализировать и обобщать полученную информацию, делать научные выводы, т. е. мыслить творчески.

Итогом профессиональных знаний обучающихся практически по всем специальностям, по которым ведется подготовка в ИЛХ ПГАТУ, является защита выпускной квалификационной работы, основой для которой служат научно-производственные эксперименты и знания, полученные в процессе обучения. Анализ результатов защиты работ показывает достаточно высокий их уровень — преобладающими на защитах выпускных работ являются оценки «хорошо» и «отлично». Следует подчеркнуть, что полученные знания о региональной специфике лесов Дальнего Востока, об особенностях древесно-кустарниковых растений, их размножении и выращивании успешно используются выпускниками в их дальнейшей деятельности. Выпускники ИЛХ ПГАТУ успешно защищают кандидатские (В.А. Полещук, В.Н. Усов, В.Ю. Острошенко и др.) и докторские (В.А. Недолужко, А.П. Добрынин, В.Д. Чернышев и др.) диссертации, посвященные изучению флоры и растительности ДВ.

Выводы

Дальневосточные леса играют заметную роль в растительном покрове нашей страны, в ее природно-ресурсном потенциале. Для сохранения, восстановления и рационального использования этих лесов большое значение имеет подготовка квалифицированных кадров лесного хозяйства, способных учитывать специфику данного региона и полнее выполнять стоящие перед ним задачи. Ведущая роль в формировании таких кадров принадлежит высшей школе, в первую очередь — вузам, которые готовят специалистов для этой отрасли. Именно таким учебным заведением является ПГАТУ, в состав которой входит Институт лесного и лесопаркового хозяйства. На протяжении всей своей деятельности сотрудниками института значительное внимание уделялось использованию региональных материалов в процессе обучения, который строился на обобщении и анализе имеющихся в литературе материалов, результатов собственных исследований сотрудников ИЛХ ПГАТУ. Лекционные курсы, практические занятия, учебные программы строились на основе учета климатических особенностей региона, лесоводственных свойств, биологических и экологических особенностей дальневосточных древесных и кустарниковых пород, состояния и процессов, происходящих в лесных насаждениях Дальнего Востока.

Таким образом, опыт Приморского государственного аграрно-технологического университета показывает большое значение использования региональной компоненты в подготовке специалистов лесного хозяйства. Это дает возможность сделать процесс обучения более интересным, ориентированным на лесное хозяйство Дальнего Востока, подготовить квалифицированных специалистов лесного хозяйства со знанием особенностей данного региона.

Работа выполнена по государственному заданию Ботанического сада-института ДВО РАН (№ 122040800085-4; 122040800086-1).

Список литературы

- [1] Лесной кодекс Российской Федерации от 04.12.2006 N 200-ФЗ (ред. от 30.12.2021) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2022). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64299/ (дата обращения 21.07.2022).
- [2] Белозеров И.Л., Белозерова С.И., Кибякова Д.П. Лесные ресурсы Дальневосточного федерального округа // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2014. Т. 2. № 1 (6). С. 45–49.
- [3] Приходько О.Ю., Бычкова Т.А., Ким Г.Е. Современное состояние лесного фонда Дальневосточного федерального округа // Сибирский лесной журнал. 2021. № 1. С. 21–29.
- [4] Бочарников В.Н., Мартыненко А.Б., Глушенко Ю.Н., Горовой П.Г., Нечаев В.А., Ермошин В.В., Недолужко В.А., Горобец К.В., Дудкин Р.В. Биоразнообразие Дальневосточного экорегионального комплекса. Владивосток: Апельсин, 2004. 291 с.
- [5] Красная книга Амурской области: редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды животных, растений и грибов. Благовещенск: Изд-во Дальневосточного государственного аграрного университета, 2020. 499 с.
- [6] Красная книга Еврейской автономной области: редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды растений и грибов. Новосибирск: АРТА, 2006. 248 с.
- [7] Красная книга Еврейской автономной области: редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды животных. Биробиджан: Правительство ЕАО: Институт комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН, 2014. 183 с.
- [8] Красная книга Забайкальского края. Животные. Новосибирск: Новосибирский издательский дом, 2012. 344 с.
- [9] Красная книга Забайкальского края: растения. Новосибирск: Дом мира, 2017. 384 с.
- [10] Красная книга Камчатского края. Т. 1. Животные. Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс, 2018. 196 с.; Т. 2. Растения. Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс, 2018. 388 с.
- [11] Красная книга Магаданской области. Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды растений и животных. Магадан: Охотник, 2019. 356 с.
- [12] Красная книга Приморского края: животные. Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды животных. Владивосток: Апельсин, 2005. 405 с.
- [13] Красная книга Приморского края: растения. Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды растений и грибов. Владивосток: Апельсин, 2008. 688 с.
- [14] Красная книга Республики Саха (Якутия). Т.1. Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды растений и грибов. М.: Реарт, 2017. 412 с.; Т. 2. Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды животных. М.: Наука, 2019. 271 с.
- [15] Красная книга Сахалинской области: животные. М.: Буки Веди, 2016. 252 с.
- [16] Красная книга Сахалинской области: растения и грибы. Кемерово, 2019. 352 с.
- [17] Красная книга Хабаровского края: редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды растений, грибов и животных. Воронеж: Мир, 2018. 604 с.
- [18] Красная книга Чукотского автономного округа. Т. 1. Животные. Магадан: Дикий Север, 2008. 236 с.; Т. 2. Растения. Магадан: Дикий Север, 2008. 224 с.
- [19] Современное состояние лесов российского Дальнего Востока / Под ред. А.П. Ковалева. Хабаровск: изд-во ДальНИИЛХ, 2009. 470 с.
- [20] Корякин В.Н. Кедрово-широколиственные леса Дальнего Востока России (динамика, состояние, пользование ресурсами, реабилитация). Хабаровск: Изд-во ДальНИИЛХ, 2007. 359 с.
- [21] Корякин В.Н., Лысун Е.Ю., Романова Н.В. Обоснование возрастов спелостей и рубки древостоев ели и пихты в темнохвойных лесах Дальнего Востока. Хабаровск: Изд-во ДальНИИЛХ, 2012. 174 с.
- [22] Шешуков М.А., Никитенко Е.А., Брусова Е.В., Позднякова В.В. Рекомендации по противопожарной профилактике гарей и горельников и их лесовосстановления в Дальневосточном федеральном округе. Хабаровск: Изд-во ДальНИИЛХ, 2013. 35 с.
- [23] Орлов А.М., Андреев Ю.А., Чаков В.В., Поздняков В.В. Пожарная обстановка в лесах Хабаровского края. Хабаровск: Хабаровская краевая типография, 2022. 160 с.

- [24] Никитенко Е.А., Гуль Л.П. Рекомендации по использованию семян и выращиванию посадочного материала кедра корейского с улучшенными наследственными свойствами (для Приморского края). Хабаровск: Изд-во ДальНИИЛХ, 2011. 28 с.
- [25] Никитенко Е.А., Гуль Л.П. Рекомендации по использованию семян и выращиванию посадочного материала кедра корейского с улучшенными наследственными свойствами. Хабаровск: Изд-во ДальНИИЛХ, 2010. 26 с.
- [26] Юрченко Г.И., Малоквасова Т.С., Турова Г.И. Рекомендации по мониторингу и мерам контроля численности непарного шелкопряда на Дальнем Востоке. Хабаровск: Изд-во ДальНИИЛХ, 2007. 45 с.
- [27] Нормативно-справочные материалы для таксации дальневосточных древесных пород: березы шерстистой (б. каменной), березы даурской (б. черной), тиса остроконечного, мааки амурской, диморфанта, тополя душистого и тополя Максимова, козенни, ивы сердцелистной, черемухи обыкновенной, черемухи Маака, клена маньчжурского, ольхи волосистой, рябины амурской / сост. В.С. Грек, Н.В. Романова, Д.В. Павлов. Хабаровск: Изд-во ДальНИИЛХ, 2021. 56 с.
- [28] Корякин В.Н., Романова Н.В. Сборник таблиц хода роста и прироста насаждений основных лесобразующих пород Дальнего Востока. Хабаровск: Изд-во ДальНИИЛХ, 2015. 229 с.
- [29] Справочник для учета лесных ресурсов Дальнего Востока / Отв. сост. и науч. ред. В.Н. Корякин. Хабаровск: Изд-во ДальНИИЛХ, 2017. 528 с.
- [30] Тагильцев Ю.Г., Колесникова Р.Д. Недревесные лесные продукты Дальнего Востока России (десятилетия труда и вдохновения). К 75-летию Дальневосточного научно-исследовательского института лесного хозяйства. Хабаровск: Изд-во ДальНИИЛХ, 2014. 522 с.
- [31] Пшенникова Л.М., Урусов В.М. Деревья и кустарники полуострова Муравьев-Амурский. Голосеменные. Владивосток: Дальнаука, 2003. 64 с.
- [32] Денисов Н.И., Петухова И.П., Пшенникова Л.М., Прилуцкий А.Н. Декоративные деревья, кустарники и лианы в Приморье. Владивосток: Изд-во ДВО РАН (Владивосток: ЧП Ермаков), 2005. 211 с.
- [33] Воронкова Н.М., Нестерова С.В., Журавлев Ю.Н. Размножение редких видов растений Приморского края. Владивосток: Дальнаука, 2000. 145 с.
- [34] Орехова Т.П. Семена дальневосточных древесных растений (морфология, анатомия, биохимия и хранение). Владивосток: Дальнаука, 2005. 161 с.
- [35] Гуков Г.В. Лиственницы и лиственничные леса российского Дальнего Востока. Владивосток: Дальприбор, 2009. 350 с.
- [36] Гуков Г.В., Гриднев А.Н., Гриднева Н.В. Пихта цельнолиственная в Приморском крае: современное состояние, проблемы искусственного лесоразведения // Успехи современного естествознания. 2017. № 10. С. 29–34.
- [37] Острошенко В.В. Историко-географические аспекты освоения и заселения Дальнего Востока. Уссурийск: Изд-во УГПИ, 2007. 121 с.
- [38] Гуков Г.В. Лесоведение на Дальнем Востоке. Владивосток: Дальнаука, 2014. 423 с.
- [39] Гуков Г.В. Охрана лесов и мониторинг лесных пожаров на Дальнем Востоке. Уссурийск: Изд-во ПГСХА, 2013. 49 с.
- [40] Гриднев А.Н., Гриднева Н.В. Обзор современных информационных технологий, используемых для обнаружения и организации тушения лесных пожаров // Интенсивность использования и воспроизводства лесов Сибири и Дальнего Востока. Хабаровск: Изд-во ДальНИИЛХ, 2021. С. 236–244.
- [41] Острошенко В.В., Гриднев А.Н. Организация лесных питомников в условиях Приморского края (нормативно-справочные материалы). Уссурийск: Изд-во ПГСХА, 2012. 183 с.
- [42] Гриднев А.Н., Гриднева Н.В. Научные основы выращивания посадочного материала в условиях Дальнего Востока. Уссурийск: Изд-во ПГСХА, 2020. 271 с.
- [43] Измоленов А.Г. Силедия-3. Лесопродукционное учение. Хабаровск: Изд-во ДальНИИЛХ, 2014. 271 с.
- [44] Костырина Т.В., Гуков Г.В., Зориков П.С. Лесные промыслы. Владивосток: Дальприбор, 2015. 365 с.
- [45] Гриднев А.Н., Полещук В.А., Сибирина Л.А., Гриднева Н.В. Региональные особенности лесовосстановления на Дальнем Востоке. Уссурийск: Изд-во ПГСХА, 2020. 147 с.
- [46] Острошенко В.В. География лесов Дальнего Востока. Уссурийск: Изд-во УГПИ, 2009. 288 с.
- [47] Храпко О.В., Иванова О.Г., Копьева А.В. Ландшафтное проектирование. Владивосток: Изд-во ВГУЭС, 2017. 368 с.
- [48] Гуков Г.В., Розломий Н.Г. Вертикальное озеленение в зеленом строительстве в условиях юга Дальнего Востока. Владивосток: Изд-во ПГСХА, 2014. 178 с.
- [49] Комин А.Э., Приходько О.Ю., Гуков Г.В., Усов В.Н., Гриднев А.Н., Лепешкин Е.А., Иванов А.В., Халиулов Р.И. Лесной участок Приморской государственной сельскохозяйственной академии (опыт образовательной деятельности). Владивосток: Апельсин, 2016. 90 с.

Сведения об авторах

Гриднев Александр Николаевич [✉] — канд. с.-х. наук, доцент Института лесного и лесопаркового хозяйства ФГБОУ ВО «Приморский государственный аграрно-технологический университет», gridnevan1956@mail.ru

Храпко Ольга Викторовна — д-р биол. наук, доцент, ст. науч. сотр. ФГБУН «Ботанический сад-институт Дальневосточного отделения Российской академии наук»; профессор Института лесного и лесопаркового хозяйства ФГБОУ ВО «Приморский государственный аграрно-технологический университет», ovkhrapko@yandex.ru

Гриднева Наталья Владимировна — канд. биол. наук, доцент, ст. преподаватель Института лесного и лесопаркового хозяйства ФГБОУ ВО «Приморский государственный аграрно-технологический университет», gridnevanv1959@mail.ru

Поступила в редакцию 14.12.2022.

Одобрено после рецензирования 02.10.2023.

Принята к публикации 28.11.2023.

REGIONAL COMPONENT IN TRAINING FORESTRY SPECIALISTS

A.N. Gridnev¹✉, O.V. Khrapko^{2, 1}, N.V. Gridneva¹¹Primorsky State Agrarian-Technological University, 44, Blyukhera av., 692510, Ussuriysk, Russia²Botanical Garden-Institute of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, 142, Makovsky st., 690024, Vladivostok, Russia

gridnevan1956@mail.ru

On the example of the Primorsky State Agrarian and Technological University, the use of a regional component in the education process for training senior specialists aimed at organizing forestry management according to the principles of sustainability and rational use of forest resources is shown.

Keywords: higher forest education, educational process, regional component

Suggested citation: Gridnev A.N., Khrapko O.V., Gridneva N.V. *Regional'naya komponenta v podgotovke spetsialistov lesnogo khozyaystva* [Regional component in training forestry specialists]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2024, vol. 28, no. 1, pp. 80–88. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-1-80-88

References

- [1] *Lesnoy kodeks Rossiyskoy Federatsii ot 04.12.2006 N 200-FZ (red. ot 30.12.2021) (s izm. i dop., vstup. v silu s 01.03.2022)* [Forest Code of the Russian Federation dated 04.12.2006 N 200- FZ (ed. From 30.12.2021) (with rev. and add., intro. in force from 01.03.2022)]. Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64299/ (accessed 21.07.2022).
- [2] Belozerov I.L., Belozerova S.I., Kibyakova D.P. *Lesnye resursy Dal'nevostochnogo federal'nogo okruga* [Forest resources of the Far Eastern Federal District]. Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika [Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice], 2014. v. 2, no. 1 (6), pp. 45–49.
- [3] Prikhod'ko O.Yu., Bychkova T.A., Kim G.E. *Sovremennoe sostoyanie lesnogo fonda Dal'nevostochnogo federal'nogo okruga* [The current state of the forest fund of the Far Eastern Federal District]. *Sibirskiy lesnoy zhurnal* [Siberian Forest Journal], 2021, no. 1. pp. 21–29.
- [4] Bocharnikov V.N., Martynenko A.B., Glushchenko Yu.N., Gorovoy P.G., Nechaev V.A., Ermoshin V.V., Nedoluzhko V.A., Gorobets K.V., Dudkin R.V. *Bioraznoobrazie Dal'nevostochnogo ekoregional'nogo kompleksa* [Biodiversity of the Far Eastern Ecoregional Complex]. Vladivostok: Tikhookeanskiy institut geografii DVO RAN, 2004, 292 p.
- [5] *Krasnaya kniga Amurskoy oblasti: redkie i nakhodyashchiesya pod ugrozoy ischeznoveniya vidy zhivotnykh, rasteniy i gribov* [Red Book of the Amur Region: rare and endangered species of animals, plants and fungi]. Blagoveshchensk: Far Eastern State agrarian university, 2020, 499 p.
- [6] *Krasnaya kniga Evreyskoy avtonomnoy oblasti: redkie i nakhodyashchiesya pod ugrozoy ischeznoveniya vidy rasteniy i gribov* [Red Book of the Jewish Autonomous Region: rare and endangered species of plants and fungi]. Novosibirsk: ARTA, 2006, 248 p.
- [7] *Krasnaya kniga Evreyskoy avtonomnoy oblasti: redkie i nakhodyashchiesya pod ugrozoy ischeznoveniya vidy zhivotnykh* [Red Book of the Jewish Autonomous Region: rare and endangered animal species]. Birobidzhan: ICARP FEB RAS, 2014, 183 p.
- [8] *Krasnaya kniga Zabaykal'skogo kraya. Zhivotnye* [Red Book of the Trans-Baikal Territory. Animals] Novosibirsk: Novosibirsk Publishing House, 2012, 344 p.
- [9] *Krasnaya kniga Zabaykal'skogo kraya: rasteniya* [Red Book of the Trans-Baikal Territory: plants]. Novosibirsk: House of Peace, 2017, 384 p.
- [10] *Krasnaya kniga Kamchatskogo kraya. T. 1. Zhivotnye* [Red Data Book of the Kamchatka Territory. Vol. 1. Animals]. Petropavlovsk-Kamchatskiy: Kamchatpress, 2018, 196 p.; *T. 2. Rasteniya* [V. 2. Plants]. Petropavlovsk-Kamchatskiy: Kamchatpress, 2018, 388 p.
- [11] *Krasnaya kniga Magadanskoy oblasti. Redkie i nakhodyashchiesya pod ugrozoy ischeznoveniya vidy rasteniy i zhivotnykh* [Red Data Book of the Magadan Region. Rare and endangered plant and animal species]. Magadan: Hunter, 2019, 356 p.
- [12] *Krasnaya kniga Primorskogo kraya: zhivotnye. Redkie i nakhodyashchiesya pod ugrozoy ischeznoveniya vidy zhivotnykh* [Red Data Book of Primorsky Region: animals. Rare and endangered animal species]. Vladivostok: Orange, 2005, 405 p.
- [13] *Krasnaya kniga Primorskogo kraya: rasteniya. Redkie i nakhodyashchiesya pod ugrozoy ischeznoveniya vidy rasteniy i gribov* [Red Data Book of Primorsky Region: plants. Rare and endangered species of plants and fungi]. Vladivostok: Orange, 2008, 688 p.
- [14] *Krasnaya kniga Respubliki Sakha (Yakutiya). T. 1. Redkie i nakhodyashchiesya pod ugrozoy ischeznoveniya vidy rasteniy i gribov* [Red Book of the Republic of Sakha (Yakutia). V. 1. Rare and endangered species of plants and fungi]. Moscow: Reart, 2017, 412 p.; *T. 2. Redkie i nakhodyashchiesya pod ugrozoy ischeznoveniya vidy zhivotnykh* [V. 2. Rare and endangered animal species]. Moscow: Nauka, 2019, 271 p.
- [15] *Krasnaya kniga Sakhalinskoy oblasti: zhivotnye* [Red Book of the Sakhalin Region: animals]. Moscow: Buki Vedi, 2016, 252 p.
- [16] *Krasnaya kniga Sakhalinskoy oblasti: rasteniya i griby* [Red Book of the Sakhalin Region: plants and fungi]. Kemerovo, 2019, 352 p.
- [17] *Krasnaya kniga Khabarovskogo kraya: redkie i nakhodyashchiesya pod ugrozoy ischeznoveniya vidy rasteniy, gribov i zhivotnykh* [Red Book of the Khabarovsk Territory: rare and endangered species of plants, fungi and animals]. Voronezh: Mir, 2019, 604 p.
- [18] *Krasnaya kniga Chukotskogo avtonomnogo okruga. T. 1. Zhivotnye*. [Red Book of the Chukotka Autonomous Okrug. V. 1. Animals]. Magadan: Dikiy Sever, 2008, 236 p. *T. 2. Rasteniya* [V. 2. Plants]. Magadan: Dikiy Sever, 2008, 224 p.
- [19] *Sovremennoe sostoyanie lesov rossiyskogo Dal'nego Vostoka* [The current state of the forests of the Russian Far East]. Ed. A. P. Kovalev. Khabarovsk: Far East Forestry Research Institute, 2009, 470 p.

- [20] Koryakin V.N. *Kedrovo-shirokolistvennye lesa Dal'nego Vostoka Rossii (dinamika, sostoyanie, pol'zovanie resursami, rehabilitatsiya)* [Cedar-broad-leaved forests of the Russian Far East (dynamics, state, use of resources, rehabilitation)]. Khabarovsk: Far East Forestry Research Institute, 2007, 359 p.
- [21] Koryakin V.N., Lysun E.Yu., Romanova N.V. *Obosnovanie vozrastov spelostey i rubki drevostoev eli i pikhty v temnokhoynnykh lesakh Dal'nego Vostoka* [Substantiation of maturity ages and felling of spruce and fir stands in dark coniferous forests of the Far East]. Khabarovsk: Far East Forestry Research Institute, 2012, 174 p.
- [22] Sheshukov M.A., Nikitenko E.A., Brusova E.V., Pozdnyakova V.V. *Rekomendatsii po protivopozharnoy profilaktike garey i gorel'nikov i ikh lesovosstanovleniya v Dal'nevostochnom federal'nom okruge* [Recommendations for fire prevention of burned areas and burnt areas and their reforestation in the Far Eastern Federal District]. Khabarovsk: Far East Forestry Research Institute, 2013, 35 p.
- [23] Orlov A.M., Andreev Yu.A., Chakov V.V., Pozdnyakov V.V. *Pozharnaya obstanovka v lesakh Khabarovskogo kraya* [Fire situation in the forests of the Khabarovsk Territory]. Khabarovsk: Khabarovsk Regional Printing House, 2022, 160 p.
- [24] Nikitenko E.A., Gul' L.P. *Rekomendatsii po ispol'zovaniyu semyan i vyrashchivaniyu posadochnogo materiala kedra koreyskogo s uluchshennymi nasledstvennymi svoystvami (dlya Primorskogo kraya)* [Recommendations on the use of seeds and the cultivation of planting material of Korean pine with improved hereditary properties (for Primorsky Region)]. Khabarovsk: Far East Forestry Research Institute, 2011, 28 p.
- [25] Nikitenko E.A., Gul' L.P. *Rekomendatsii po ispol'zovaniyu semyan i vyrashchivaniyu posadochnogo materiala kedra koreyskogo s uluchshennymi nasledstvennymi svoystvami* [Recommendations on the use of seeds and the cultivation of planting material of Korean pine with improved hereditary properties]. Khabarovsk Far East Forestry Research Institute, 2010, 26 p.
- [26] Yurchenko G.I., Malokvasova T.S., Turova G.I. *Rekomendatsii po monitoringu i meram kontrolya chislennosti neparnogo shelkopryada na Dal'nem Vostoke* [Recommendations for monitoring and control measures for the number of gypsy moth in the Far East]. Khabarovsk: Far East Forestry Research Institute, 2007, 45 p.
- [27] *Normativno-spravochnye materialy dlya taksatsii dal'nevostochnykh drevesnykh porod: berezy sherstistoy (b. kamennoy), berezy daurskoy (b. chernoy), tisa ostrokonechnogo, maakii amurskoy, dimorfanta, topolya dushistogo i topolya Maksimovicha, chozenii, ivy serdtselistnoy, chermukhi obyknovennoy, chermukhi Maaka, klена man'chzhurskogo, ol'khi volosistoy, ryabiny amurskoy / sost. V.S. Grek, N.V. Romanova, D.V. Pavlov* [Normative and reference materials for the taxation of Far Eastern tree species]. Khabarovsk: Far East Forestry Research Institute, 2021, 56 p.
- [28] Koryakin V.N., Romanova N.V. *Sbornik tablits khoda rosta i prirosta nasazhdeniy osnovnykh lesoobrazuyushchikh porod Dal'nego Vostoka* [Collection of tables of the course of growth and growth of plantations of the main forest-forming species of the Far East]. Khabarovsk: Far East Forestry Research Institute, 2015, 229 p.
- [29] *Spravochnik dlya ucheta lesnykh resursov Dal'nego Vostoka* [Handbook for accounting for forest resources of the Far East]. Ed. comp. and scientific ed. V.N. Koryakin. Khabarovsk: Dal'NIILKH, 2017, 528 p.
- [30] Tagil'tsev Yu.G., Kolesnikova R.D. *Nedrevesnye lesnye produkty Dal'nego Vostoka Rossii (desyatiletiya truda i vdokhnoveniya). K 75-letiyu Dal'nevostochnogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo khozyaystva* [Non-timber forest products of the Russian Far East (decades of work and inspiration). To the 75th anniversary of the Far East Research Institute of Forestry]. Khabarovsk: Dal'NIILKH, 2014, 522 p.
- [31] Pshennikova L.M., Urusov V.M. *Derev'ya i kustarniki poluostrova Murav'ev-Amurskiy. Golosemnyye* [Trees and shrubs of the Muravyov-Amursky Peninsula. Gymnosperms]. Vladivostok: Dalnauka, 2003, 64 p.
- [32] Denisov N.I., Petukhova I.P., Pshennikova L.M., Prilutskiy A.N. *Dekorativnye derev'ya, kustarniki i liany v Primor'e* [Ornamental trees, shrubs and lianas in Primorye]. Vladivostok: FEB RAS, 2005, 211 p.
- [33] Voronkova N.M., Nesterova S.V., Zhuravlev Yu.N. *Razmnozhenie redkikh vidov rasteniy Primorskogo kraya* [Reproduction of rare species of plants in Primorsky Region]. Vladivostok: Dalnauka, 2000, 145 p.
- [34] Orekhova T.P. *Semena dal'nevostochnykh derevyanistykh rasteniy (morfologiya, anatomiya, biokhimiya i khraneniye)* [Seeds of Far Eastern woody plants (morphology, anatomy, biochemistry and storage)]. Vladivostok: Dalnauka, 2005, 161 p.
- [35] Gukov G.V. *Listvenitsy i listvennichnye lesa rossiyского Dal'nego Vostoka* [Larch and larch forests of the Russian Far East]. Vladivostok: Dalpribor, 2009, 350 p.
- [36] Gukov G.V., Gridnev A.N., Gridneva N.V. *Pikhta tsel'nolistnaya v Primorskom krae: sovremennoe sostoyanie, problemy iskusstvennogo lesorazvedeniya* [Abies holophylla Maxim. in Primorsky Region: current state, problems of artificial afforestation]. Ussuriysk: Primorskaya State Agricultural Academy, 2009, 33 p.
- [37] Ostroshenko V.V. *Istoriko-geograficheskie aspekty osvoeniya i zaseleniya Dal'nego Vostoka* [Historical and geographical aspects of the development and settlement of the Far East]. Ussuriysk: Ussuri State Pedagogical Institute, 2007, 140 p.
- [38] Gukov G.V. *Lesovedeniye na Dal'nem Vostoke* [Forest science in the Far East]. Vladivostok: Dalnauka, 2014, 423 p.
- [39] Gukov G.V. *Okhrana lesov i monitoring lesnykh pozharov na Dal'nem Vostoke* [Forest protection and monitoring of forest fires in the Far East]. Ussuriysk: Primorskaya State Agricultural Academy, 2019, 304 p.
- [40] Gridnev A.N., Gridneva N.V. *Obzor sovremennykh informatsionnykh tekhnologiy, ispol'zuemykh dlya obnaruzheniya i organizatsii tusheniya lesnykh pozharov* [Review of modern information technologies used to detect and organize forest fire extinguishing]. Intensivnost' ispol'zovaniya i vosproizvodstva lesov Sibiri i Dal'nego Vostoka [Intensity of use and reproduction of forests in Siberia and the Far East]. Khabarovsk: Far East Forestry Research Institute, 2021, pp. 236–244.
- [41] Ostroshenko V.V., Gridnev A.N. *Organizatsiya lesnykh pitomnikov v usloviyakh Primorskogo kraya (normativno-spravochnye materialy)* [Organization of forest nurseries in the conditions of the Primorsky Territory (regulatory and reference materials)]. Ussuriysk: Primorskaya State Agricultural Academy, 2012, 183 p.
- [42] Gridnev A.N., Gridneva N.V. *Nauchnye osnovy vyrashchivaniya posadochnogo materiala v usloviyakh Dal'nego Vostoka* [Scientific basis for growing planting material in the conditions of the Far East]. Ussuriysk: Primorskaya State Agricultural Academy, 2020, 271 p.
- [43] Izmodenov A.G. *Silediya-3. Lesoproduktsionnoye ucheniye* [Siledia-3. Forest production teaching]. Khabarovsk: Far East Forestry Research Institute, 2014, 271 p.

- [44] Kostyrina T.V., Gukov G.V., Zorikov P.S. *Lesnye promysly* [Forest crafts: textbook]. Vladivostok: Dalpribor, 2015, 365 p.
- [45] Gridnev A.N., Poleshchuk V.A., Sibirina L.A., Gridneva N.V. *Regional'nye osobennosti lesovosstanovleniya na Dal'nem Vostoke* [Regional features of reforestation in the Far East]. Ussuriysk: Primorskaya State Agricultural Academy, 2020, 147 p.
- [46] Ostroschenko V.V. *Geografiya lesov Dal'nego Vostoka* [Geography of forests of the Far East]. Ussuriysk: Ussuri State Pedagogical Institute, 2009, 288 p.
- [47] Khrapko O.V., Ivanova O.G., Kop'eva A.V. *Landshaftnoe proektirovanie* [Landscape design]. Vladivostok: Vladivostok State University of Economics and Service, 2017, 368 p.
- [48] Gukov G.V., Rozlomiyy N.G. *Vertikal'noe ozelenenie v zelenom stroitel'stve v usloviyakh yuga Dal'nego Vostoka* [Vertical gardening in green building in the conditions of the south of the Far East]. Ussuriysk: Primorskaya State Agricultural Academy, 2014, 178 p.
- [49] Komin A.E., Prikhod'ko O.Yu., Gukov G.V., Usov V.N., Gridnev A.N., Lepeshkin E.A., Ivanov A.V. Khaliulov R.I. *Lesnoy uchastok Primorskoj gosudarstvennoj sel'skokhozyaystvennoy akademii (opyt obrazovatel'noy deyatel'nosti)* [Forest area of the Primorsky State Agricultural Academy (educational experience)]. Vladivostok: Orange, 2016, 90 p.

The work was carried out under the state assignment of the Botanical Garden-Institute of the Far East Branch of the Russian Academy of Sciences (No. 122040800085-4; 122040800086-1).

Authors' information

Gridnev Aleksandr Nikolaevich  — Cand. Sci. (Agricultural), Associate Professor of the Institute of Institute of Forestry and Forest Park Management, Primorsky State Agrarian-Technological University, gridnevan1956@mail.ru

Khrapko Ol'ga Viktorovna — Dr. Sci. (Biology), Senior Researcher of the Botanical Garden-Institute of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences; Professor of the Institute of Institute of Forestry and Forest Park Management, Primorsky State Agrarian-Technological University, ovkhrapko@yandex.ru

Gridneva Natal'ya Vladimirovna — Cand. Sci. (Biology), Chief Lecturer of the Institute of Forestry and Forest Park Management, Primorsky State Agrarian-Technological University, gridnevanv1959@mail.ru

Received 14.12.2022.

Approved after review 02.10.2023.

Accepted for publication 28.11.2023.

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

ОСОБЕННОСТИ КЛОНАЛЬНОГО РАЗМНОЖЕНИЯ ПАВЛОВНИИ ВОЙЛОЧНОЙ (*PAULOWNIA TOMENTOSA*)

И.В. Ширнина, О.И. Молканова✉, О.С. Якимова, Д.А. Семенова

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

molkanova@mail.ru

Представленная статья посвящена оптимизации основных этапов технологии клонального микроразмножения павловнии войлочной (*Paulownia tomentosa* (Thunb.) Steud.), которая широко применяется в ландшафтном дизайне и садоводстве в теплых климатических зонах. Однако наблюдаемые в настоящее время процессы планетарного масштаба формируют тенденцию к глобальному потеплению климата, что, в свою очередь, обуславливает постепенное расширение ареала павловнии за счет освоения северных территорий. Установлено, что для стерилизации вегетативных почек лучшим является последовательное применение 2%-го раствора Фундазола (15 мин), 70%-го этанола (0,5 мин), и 7%-го гипохлорита кальция. Определено, что для инициации культуры оптимально использование питательной среды MS с добавлением гентамицина в концентрации 100 мг/л. При этом рекомендованная длительность культивирования эксплантов составляет 7 сут. Выявлено, что на этапе собственно микроразмножения оптимальным является применение питательной среды MS, дополненной 1,5 мг/л 6-бензиламинопурином и 0,05 м/л индолилуксусной кислоты. Это позволяет получить максимальный коэффициент размножения — $9,58 \pm 0,81$. Установлено, что при укоренении регенерантов лучшей следует считать питательную среду 1/2 MS, содержащую 20 г/л сахарозы и 1,0 мг/л индолилмасляной кислоты. Для получения максимальной приживаемости *P. tomentosa* (100 %) рекомендуется использовать субстрат из торфа, песка и перлита в равных частях.

Ключевые слова: павловния войлочная, *Paulownia tomentosa* (Thunb.) Steud., микроразмножение, регуляторы роста, укоренение, адаптация

Ссылка для цитирования: Ширнина И.В., Молканова О.И., Якимова О.С., Семенова Д.А. Особенности клонального размножения павловнии войлочной (*Paulownia tomentosa*) // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2024. Т. 28. № 1. С. 89–96. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-1-89-96

Павловния войлочная (*Paulownia tomentosa* (Thunb.) Steud.) — многолетнее высокорослое растение с сиреневыми цветками и крупными листьями. Естественный ареал распространения вида — Северная Америка, Европа, Азия [1–3]. Павловния войлочная произрастает на освещенных участках или в полутени, предпочитает хорошо дренированные почвы с нейтральной реакцией. В уходе проста и не капризна [3, 4]. Декоративный эффект обеспечивают крупные листья (до 50 см).

P. tomentosa относится к культурам, произрастающим в теплых климатических зонах [5], но ее культивирование возможно и в наших широтах [6, 7]. При этом тенденция потепления климата в настоящее время обуславливает постепенное расширение ареала выращивания павловнии в северные территории [8].

Культура может выдерживать непродолжительное воздействие низких температур (до $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$). После повреждения низкими температурами *P. tomentosa* способна к восстановлению за счет отрастания новых прикорневых побегов. Морозостойкость павловнии прямо коррелирует с возрастом растения [9].

Листья павловнии содержат 20 % белка, по биохимическому составу сходны с зеленью люцерны, поэтому павловния считается ценной кормовой культурой [10]. Экстракты, полученные из ее листьев, способствуют улучшению работы желудочно-кишечного тракта, мочеполовой и дыхательной систем [11, 12]. Из семян павловнии получают масло для использования в технических целях. В средние века при транспортировке фарфоровых изделий использовали семена павловнии в качестве уплотнителя [13].

В озеленении урбанизированных территорий *P. tomentosa* может быть использована в аллейных посадках и в качестве солитеров в регионах с соответствующими ее биологическим требованиям климатическими условиями [14].

P. tomentosa также можно рассматривать в качестве мелиоративной культуры. Промышленные посадки павловнии способны предотвратить эрозию почвы. Вегетативная масса и корневая система растения обогащают почву минеральными и органическими веществами [15].

В современном мире *P. tomentosa* является альтернативным источником сырья в биоэнергетике, поскольку его древесина достигает полной зрелости к девяти годам [16].

Древесина павловнии схожа с древесиной ореха. Порода очень легкая, мягкая (плотность 320 кг/м³) и при этом практически не подвержена гниению [17]. Применяется для производства очень тонкого шпона для изготовления визитных карточек, оснований ракеток настольного тенниса, деревянных башмаков и поплавков рыболовных сетей [1, 18].

В настоящее время потребление древесины павловнии продолжает увеличиваться вместе с ростом потребностей целлюлозно-бумажной промышленности [19], поэтому создание плантаций древесных пород экономически и экологически выгодно. При создании плантаций применяется преимущественно генеративный метод размножения, не обеспечивающий генетическую однородность посадочного материала и отличающийся длительностью периода ювенилизации [20–22]. Эффективно обеспечивает генетическую стабильность растений клональное микроразмножение [23].

Разработанные протоколы для регенерации микропобегов различных видов павловнии отличаются по типу используемых эксплантов для введения в культуру *in vitro* и концентрации применяемых регуляторов роста растений [24–26]. В некоторых работах [27, 28] показана зависимость эффективности микроклонального размножения от генотипической принадлежности вводимого объекта. При этом вариабельность клонов одного генотипа довольно высока [29–31], поэтому усовершенствование состава питательной среды для размножения *P. tomentosa* является актуальным [19, 32].

Цель работы

Цель работы — усовершенствование технологии клонального микроразмножения *P. tomentosa* для получения посадочного материала.

Материалы и методы

Исследования были проведены в 2018–2022 гг. в лаборатории биотехнологии растений Главного ботанического сада имени Н.В. Цицина Российской академии наук (ГБС РАН). В качестве объектов исследования использовали двухлетние маточные растения, пророщенные из семян, полученных из обменных фондов.

При введении в культуру *in vitro* в качестве исходного материала использовались изолированные апексы, вычлениваемые из латеральных почек в период активного роста. Подготовка и введение в культуру *in vitro* проводились в лабораторных условиях согласно общепринятым приемам, в том числе разработанным в ГБС РАН [33]. Для поверхностной стерилизации последовательно применяли 2%-й раствор Фундазола, 70%-й раствор этанола (C₂H₆O) и 7%-й раствор гипохлорита

кальция (Ca(ClO)₂) или 7%-й раствор гипохлорита натрия (Na(ClO)), экспозиция 5...10 мин. На этапе инициации была применена питательная среда MS (Murashige and Skoog, 1962) [34] с содержанием антибиотика гентамицина 100 мг/л.

На стадии собственно микроразмножения использовали среду MS, дополненную 6-БАП (6-бензиламинопурином) от 0,5 до 1,5 мг/л и 0,05 мг/л IAA (индолил-3-уксусной кислотой).

Укореняли микропобеги на питательной среде 1/2 MS, содержащей половину от общего минерального состава с пониженным содержанием сахарозы до 20 г/л, а также 1 мг/л IAA или 1 мг/л IBA (индолилмасляной кислоты). Через 14 дней культивирования учитывали число и длину корней, подсчитывали число укоренившихся растений, рассчитывали процент укоренения.

В лабораторных условиях регенеранты *P. tomentosa* выращивали при освещении 3000 лк и фотопериоде 16/8 ч., температуре 22...25 °C и влажности воздуха 70 %. Субкультивирование эксплантов проводили через 28 сут. при температуре 24 °C.

Исследования проводили в трех повторностях по 10 эксплантов в каждом варианте. В качестве контроля на всех этапах клонального микроразмножения использовали питательную среду MS.

При адаптации регенерантов к нестерильным условиям применяли три варианта почвенного субстрата: 1) торф, песок и перлит; 2) торф, песок и дерновую листовую землю; 3) песок, перлит и дерновую листовую землю. Все компоненты смешивали в пропорции 1:1:1. Перед высадкой растений субстраты стерилизовали 2 ч при температуре 90 °C. За контроль брали торф. Через 28 сут. подсчитывали приживаемость регенерантов.

Обработку результатов проводили с использованием программного обеспечения Microsoft Office 2010.

Результаты и обсуждение

Эффективность введения в культуру зависит от экспланта, стерилизующих веществ и правильно подобранных питательных сред. Не менее важны физические факторы — свет, температура и влажность воздуха [35, 36].

Поверхностная стерилизация тканей является первым шагом для получения асептических культур. Для предотвращения бактериального или грибного заражения в питательную среду должны быть введены антибиотики и фунгициды. Однако следует учесть, что предпочтительнее короткие обработки антибиотиками (10 сут.), чем их длительное применение при постоянном внесении в среду выращивания [23]. Загрязнение грибной инфекцией чаще всего преодолевается с помощью фунгицидов [29].

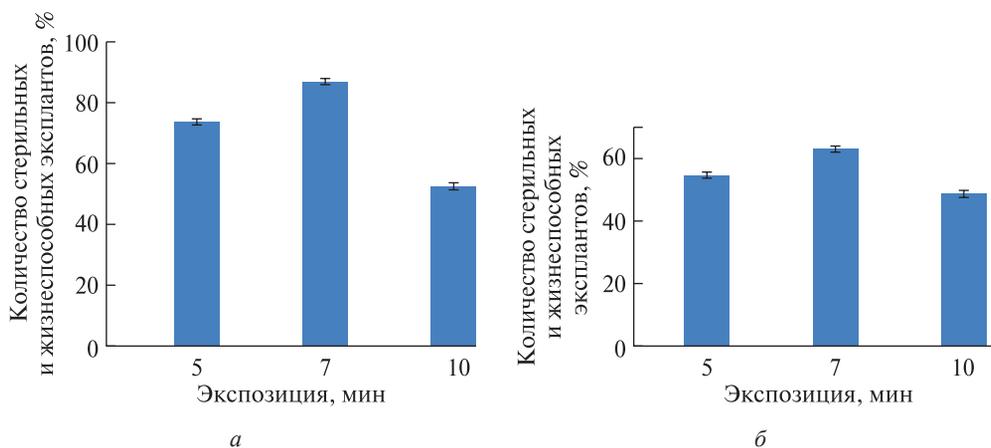


Рис. 1. Влияние типа стерилизующего раствора и экспозиции на получение стерильных и жизнеспособных эксплантов павлоннии войлочной *P. tomentosa*: *а* — 7%-го раствора гипохлорита кальция (Ca(ClO)₂); *б* — 7%-го раствора гипохлорита натрия (Na(ClO))

Fig. 1. Effect of the type of sterilising solution and exposure on obtaining sterile and viable explants of *P. tomentosa*: *а* — 7% calcium hypochlorite solution (Ca(ClO)₂); *б* — 7% sodium hypochlorite solution (Na(ClO))

На этапе введения в культуру *in vitro* применяли схемы стерилизации, отличающиеся по времени воздействия 7%-го раствора гипохлорита кальция (Ca(ClO)₂) и 7%-го раствора гипохлорита натрия (Na(ClO)) — 5, 7 и 10 мин (рис. 1).

Использование в качестве стерилизующего агента 7%-го раствора гипохлорита натрия (Na(ClO)) не было эффективным, поскольку приводило к снижению жизнеспособности стерильных эксплантов.

Наиболее оптимальной была последовательная стерилизация: 2%-м раствором фунгицида Фундазол — 10 мин, 70%-м раствором этанола (C₂H₆O) — 0,5 мин и 7%-м раствором гипохлорита кальция (Ca(ClO)₂) — 7 мин. Количество стерильных жизнеспособных эксплантов составило 87,1 ± 1,57 %. Повышение экспозиции приводило не только к уменьшению уровня контаминации, но и к снижению жизнеспособности (52,5 ± 2,67 %).

Для инициации культуры применяли питательную среду MS, содержащую 100 мг/л антибиотика гентамицина. Частота регенерации — 75 %. Длительность субкультивирования на этапе инициации составляли 7 сут.

Значительное влияние на этапе собственно микроразмножения оказывает применение регуляторов роста. Наибольшие значения длины побегов, их количества, количества междоузлий и, соответственно, коэффициента размножения получили на питательных средах MS, с добавлением 1,5 мг/л 6-БАП и 0,05 мг/л IAA. Повышение содержания регуляторов роста в составе питательной среды привело к оводнению побегов и возможности возникновения соматоклональной изменчивости (таблица).

Влияние концентрации 6-БАП и IAA в среде MS на развитие павлоннии войлочной *P. tomentosa* на этапе собственно микроразмножения
Effect of 6-BAP and IAA concentration in MS medium on the development of *P. tomentosa paulownia* at the stage of micropropagation

Концентрация, мг/л		Количество побегов, шт.	Длина побегов, мм	Количество междоузлий, шт.	Коэффициент размножения
6-БАП	IAA				
Контрольный вариант		1,00 ± 0,00	25,1 ± 5,2	3,50 ± 0,56	3,50 ± 0,13
0,5	—	1,02 ± 0,23	16,52 ± 8,07	3,33 ± 0,12	3,36 ± 0,11
1,0	—	1,10 ± 0,30	33,83 ± 2,73	3,89 ± 0,36	4,28 ± 0,13
1,5	—	1,72 ± 0,49	15,94 ± 7,08	4,20 ± 0,44	7,23 ± 0,21
1,5	0,05	2,62 ± 0,33	30,30 ± 11,12	3,65 ± 1,19	9,58 ± 0,81

По результатам исследований было установлено, что для культивирования *P. tomentosa* оптимальной является среда, содержащая 6-БАП в концентрации 1,5 мг/л и IAA (0,05 мг/л). Морфометрические показатели достоверно превышали данные, полученные на других вариантах питательных сред (число побегов 2,62, длина побега 30,3 мм, коэффициент размножения 9,58 ± 0,81).

Совместное использование цитокининов и ауксинов способствовало массовому образованию растений-регенерантов (до 12 шт. с одного экспланта). Аналогичные результаты были получены

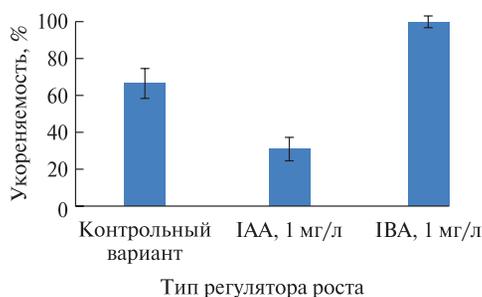


Рис. 2. Влияние регуляторов роста IAA и IBA на укореняемость павловнии войлочной *P. tomentosa*

Fig. 2. Effect of IAA and IBA growth regulators on rooting of *P. tomentosa*

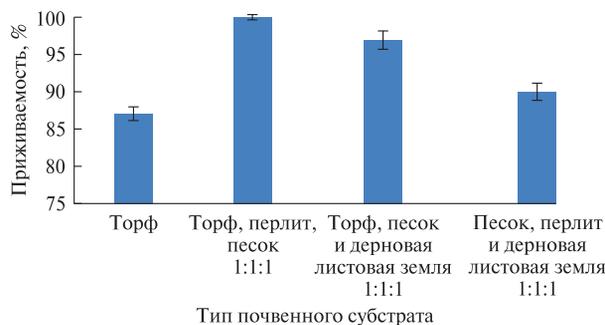


Рис. 3. Влияние состава субстрата при адаптации павловнии войлочной *P. tomentosa*

Fig. 3. Effect of substrate composition during adaptation of *P. tomentosa*

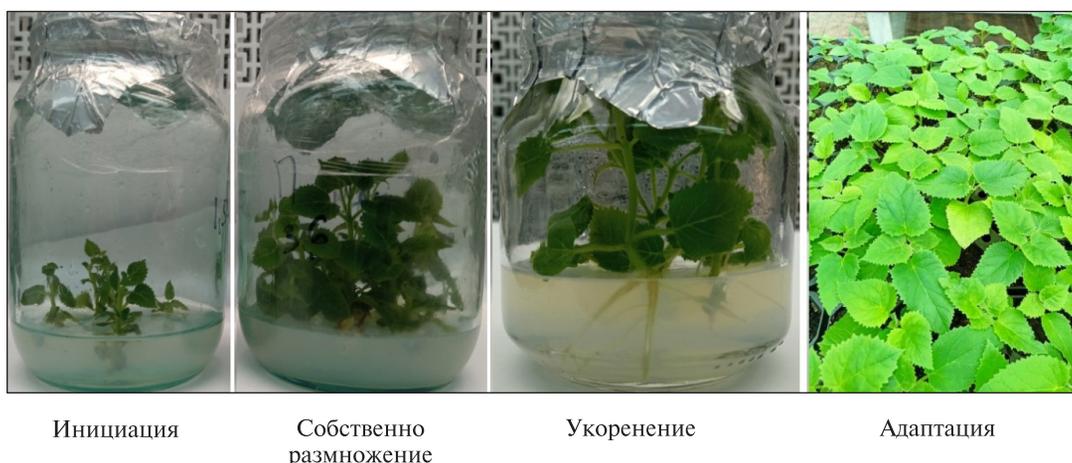


Рис. 4. Стадии клонального микроразмножения павловнии войлочной *P. tomentosa*

Fig. 4. Stages of clonal micropropagation of *P. tomentosa*

и другими учеными [9, 21]. Повышение концентрации цитокинина (до 2,0 мг/л) приводило к образованию каллуса, который часто способствует соматической изменчивости. Для поддержания генетической стабильности *P. tomentosa* дальнейшее культивирование проводили на питательной среде MS, с добавлением 1,5 мг/л 6-БАП и 0,05 мг/л IAA.

На этапе укоренения исследовали влияние IAA и IBA на образование корней у регенерантов *P. tomentosa* (рис. 2).

Установлено, что различия между процентом укореняемости на всех питательных средах статистически значимы. Наибольший процент укореняемости наблюдали на среде 1/2 MS, с добавлением 1,0 мг/л IBA и снижением сахарозы до 20 г/л (99,98 %).

Для адаптации растений павловнии к условиям выращивания *ex vitro* использовали различные субстраты (рис. 3).

Нами было выявлено положительное влияние легкого субстрата (торф, перлит и песок в соотношении 1:1:1) на приживаемость *P. tomentosa* (100 %).

Каждые 4 сут. проводили опрыскивание препаратом Эпин-Экстра для полноценного развития растений (рис. 4).

На основе результатов проведенных исследований была оптимизирована технология клонального микроразмножения *P. tomentosa*.

Выводы

Проведенные исследования позволили усовершенствовать методику культивирования *in vitro* *P. tomentosa*. Эффективным методом введения в культуру *in vitro* является стерилизация, состоящая из последовательного применения 2%-го раствора Фундазола (15 мин), 70%-го этанола (0,5 мин), 7%-го гипохлорита кальция (7 мин). Для инициации культуры применение питательной среды MS с добавлением гентамицина (100 мг/л) показало свою эффективность. Длительность одного пассажа — 7 сут. Частота регенерации — 75 %.

На этапе собственно микроразмножения оптимально применять питательную среду MS с добавлением 1,5 мг/л 6-БАП и 0,05 мг/л IAA. При укоренении эффект был получен от применения

1/2 MS, 1,0 мг/л ИВА и 20 г/л сахарозы на формирование корневой системы у эксплантов.

В качестве субстрата при адаптации регенератов в условиях *ex vitro* оптимальным было применение субстрата из торфа, перлита и песка, смешанных в равных частях, который эффективно влияет на рост и развитие растений.

Таким образом, разработанная методика клонального микроразмножения дает возможность получить достаточное количество растений для промышленных посадок.

Работа выполнена в рамках Государственного задания ГБС РАН (№ 075- 00745-22-01).

Список литературы

- [1] Ткаченко К.Н. Адамово дерево, или царственная павловния // В мире растений, 2013. № 12. С. 26–29.
- [2] Owfi R.E. Ecophysiological study of *Paulownia tomentosa* // International J. of Current Research, 2021, v. 9 (12), pp. 63582–63591.
- [3] *Paulownia tomentosa* (Thunb.) Steud. in Flora of China. URL: http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=2&taxon_id=200020800 (дата обращения 29.11.2023).
- [4] Salkic B., Salkic A., Keran H., Noćajević S., Salkic E., Imširović E. Production of Seedlings of Fast – Growth Tree of *Paulownia elongata* S. Y. Hu // New Perspectives in Agriculture and Crop Science, 2018, v. 1, pp. 1–8. DOI: 10.9734/bpi/npcs/v1
- [5] Taxonomic Information on Cultivated Plants in GRIN-Global. URL: <https://www.nordic-baltic-genebanks.org/gringlobal/taxon/abouttaxonomy?language=en&chapter=intro> (дата обращения 29.11.2023).
- [6] Jakubowski M. Cultivation potential and uses of paulownia wood: a review // Forests, 2022, v. 13 (5), pp. 1–15. <https://doi.org/10.3390/f13050668>
- [7] Жиренко Д.И., Мезенцева Д.Д. Использование павловнии войлочной для озеленения населенных пунктов // Консолидация интеллектуальных ресурсов как фундамент развития современной науки: сб. статей V Международной научно-практической конференции, Петрозаводск, 26 августа 2021 г. Петрозаводск: Новая Наука, 2021. С. 77–80. ID: 46486011.
- [8] Фирсов Г.А. Древесные экзоты и аборигены и изменения теплообеспеченности в Санкт-Петербурге // Бюллетень Главного ботанического сада, 2021. № 1. С. 30–39.
- [9] Pasiecznik N. *Paulownia tomentosa* (paulownia): CABI Compendium. CAB International. URL: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/10.1079/cabicompendium.39100> (дата обращения 24.10.2022).
- [10] Icka P., Damo R., Icka E. *Paulownia tomentosa*, a Fast Growing Timber // Annals «Valahia» University of Targoviste — Agriculture, 2016, v. 10(1), pp. 14–19. DOI: 10.1515/AGR-2016-0003.
- [11] Qu F.J., Zhang X.Z., Yao M., Yang L., Chen H., Gong J., Ni S.F. The progress of pharmaceutical research on *Paulownia* Sieb. et Zucc // J. of Anhui Agricultural Sciences, 2011, v. 39 (32), pp. 19809–19810.
- [12] He T., Vaidya B., Perry Z., Parajuli P., Joshee N. *Paulownia* as a Medicinal Tree: 204 Traditional Uses and Current Advances // J. of Medicinal Plants, 2016, v. 14(1), pp. 1–15. DOI: 10.9734/EJMP/2016/25170.
- [13] Chunchukov A., Yancheva S. Micropropagation of *Paulownia* species and hybrids // First National Conference of Biotechnology, 2014, v. 100 (4), pp. 223–230.
- [14] Павловния в России. URL: <https://paulownia-russia.com/paulownia-in-russia-guide>. (дата обращения 28.11.2023).
- [15] Stepchich A. Environmental Aspects in Cultivation of *Paulownia* in Bulgaria. Book of Proceedings // VIII Int. Sci. Agriculture Symp. «Agrosym 2017», Jahorina, October 5–8, 2017 / Ed. D. Kovačević. East Sarajevo: Faculty of Agriculture, 2017, pp. 1704–1709.
- [16] Тыщенко Е.Л., Якуба Ю.Ф. Павловния войлочная как биоиндикатор степени загрязненности почв // Плодоводство и виноградарство Юга России, 2014. № 26 (02). С. 18–27.
- [17] Komán S. Quality characteristics of the selected variant of *Paulownia tomentosa* (Robust4) wood cultivated in Hungary // Maderas-Cienc Tecnol, 2022, v. 25, pp. 1–13. DOI: 10.4067/S0718-221X2023005XXXXXX
- [18] Rai A.K., Singh S.P., Luxmi C., Savita G. *Paulownia fortunei* — a new fiber source 230 for pulp and paper // Indian Pulp Pap Tech Assoc, 2000, v. 12, pp. 51–56.
- [19] Шурганов Б.В., Мишуткина Я.В., Нескородов Я.Б. Разработка эффективной системы регенерации *Paulownia Shan Tong (P. fortunei x P. tomentosa)* // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство, 2015. № 3. С. 47–55.
- [20] Газизуллин А.Х. Современное состояние лесной биотехнологии в мире и в России // Вестник Казанского государственного аграрного университета, 2012. Т. 7. № 4(26). С. 94–98.
- [21] Иванова А.В. Механизм стимулирования спроса на инновационные продукты лесных биотехнологий // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика, 2017. № 1. С. 406–410
- [22] *Paulownia Pao Tong Z07 (Fortunei x Tomentosa x Kawakami) «Superhybrid»*. URL: <https://paulownia.pro/en/paulownia-pao-tong-z07> (дата обращения 29.11.2023).
- [23] Ветчинкина Е.М., Ширнина И.В., Ширнин С.Ю., Молканова О.И. Сохранение редких видов растений в генетических коллекциях *in vitro* // Вестник Российского государственного университета им. И. Канта, 2012. № 7. С. 109–118.
- [24] Chunchukov A., Yancheva S. Micropropagation of *Paulownia* species and hybrids // First National Conference of Biotechnology, Sofia, 2014, v. 100, book 4, pp. 223–230.
- [25] Мурсалиева В.К., Нам С.В., Кожебаева Ж.С., Муханов Т.М., Иманбаева А.А. Микроразмножение редких видов и коллекционных растений Мангышлакского экспериментального ботанического сада. Алматы, 2020. С. 4–6.
- [26] Clapa D., Fira A., Buduroi D., Simu M., Balcu Vasu L., Buduroi D. Improved *in vitro* propagation of *Paulownia elongata*, *P. fortunei* and its interspecific hybrid *P. elongata x P. fortunei* // Agricultural and Food Sciences, 2014, v.74 (1), pp. 7–14. DOI: <https://doi.org/10.15835/buasvmcn-hort:9732>
- [27] Жарасова Д.Н., Толеп Н.А.. Микроразмножение павловнии войлочной // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии, 2022, Т. 21. № 1. С. 125–132.
- [28] Shtereva L., Vassilevska-Ivanova R., Karceva T., Kraptchev B. Micropropagation of six *Paulownia* genotypes through tissue culture // J. of Central European Agriculture, 2014, v. 15 (4), pp. 147–156.
- [29] Dimps R.C., Chong-Jin G., Prakash P.K. High frequency adventitious shoot regeneration from excised leaves of *Paulownia* spp. cultured *in vitro* // Plant. Cell Reports, 1996, v. 16, pp. 204–209.
- [30] Ipekci Z., Altinkut A., Kazan K., Bajrovic K., Gozukirmizi N. High frequency plant regeneration from nodal explants of *Paulownia elongate* // Plant biol., 2001, no. 3, pp. 113–115.

- [31] Yang J.C., Chang S.H., Ho C.K. Micropropagation of *Paulownia taiwaniana* from mature tissues // Ann. Sci. For., 1989, v. 46, pp. 165–167.
- [32] Bergmann B.A., Moon H.-K. *In vitro* adventitious shoot production in *Paulownia* // Plant Cell Reports, 1997, v. 16, pp. 315–319.
- [33] Бутенко Р.Г. Культура изолированных тканей и физиология морфогенеза растений. М.: Наука, 1964. 272 с.
- [34] Murashige T., Skoog F. A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures // Plant Physiology, 1962, v. 15, pp. 473–497.
- [35] Калашникова Е.А. Влияние факторов гормональной и негормональной природы на морфогенетический потенциал интактных растений пшеницы в культуре *in vitro* // Сельскохозяйственная биотехнология, 2000. Т. 2. С. 71–80.
- [36] Молканова О.И., Горбунов Ю.Н., Ширнина И.В., Егорова Д.А. Применение биотехнологических методов для сохранения генофонда редких видов растений // Ботанический журнал, 2020. Т. 105 (6). С. 610–619.

Сведения об авторах

Ширнина Ирина Васильевна — науч. сотр. лаборатории биотехнологии растений, ФГБУН «Главный ботанический сад имени Н.В. Цицина Российской академии наук», ishirmina@list.ru

Молканова Ольга Ивановна ✉ — канд. с.-х. наук, вед. науч. сотр., заведующий лабораторией биотехнологии растений, ФГБУН «Главный ботанический сад имени Н.В. Цицина Российской академии наук», molkanova@mail.ru.

Якимова Ольга Сергеевна — инженер лаборатории биотехнологии растений, ФГБУН «Главный ботанический сад имени Н.В. Цицина Российской академии наук», yakimova@mail.ru.

Семенова Дарья Александровна — мл. науч. сотр. лаборатории биотехнологии растений, ФГБУН «Главный ботанический сад имени Н.В. Цицина Российской академии наук», dariaegor11@gmail.com.

Поступила в редакцию 20.01.2023.

Одобрено после рецензирования 19.05.2023.

Принята к публикации 21.12.2023.

FEATURES OF *PAULOWNIA TOMENTOSA* CLONAL PROPAGATION

I.V. Shirnina, O.I. Molkanova ✉, O.S. Yakimova, D.A. Semenova

The N.V. Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences, 4, Botanicheskaya st., 127276, Moscow, Russia
molkanova@mail.ru

Paulownia tomentosa (Thunb.) Steud. is a perennial tall and fast-growing deciduous plant with very large leaves and beautiful fragrant inflorescences, consisting of pale purple flowers. In North America, Europe and Asia it is used as a valuable garden and park plant. The technology of clonal micropropagation, including obtaining a sterile culture, propagation of regenerated plants, their following rooting and adaptation *ex vitro*, has been optimized for this species. During sterilization of vegetative buds, the optimal result was achieved by using calcium hypochlorite at a concentration of 7 %. The duration of exposure was 7 minutes. The optimal culture medium at the stage of micropropagation was MS (Murashige and Skoog, 1962) supplemented with 1,5 mg/L 6-BAP and 0,05 mg/L IAA. The multiplication rate was $9,58 \pm 0,81$. The regenerants most successfully rooted on 1/2 MS culture medium containing 1,0 mg/L IBA and 20,0 g/L sucrose. The maximum survival rate of *P. tomentosa* (100 %) obtained on a substrate consisting of peat, perlite and sand in a 1:1:1 ratio. The developed technology is the basis for obtaining homogenous planting material.

Keywords: *Paulownia tomentosa* (Thunb.) Steud., micropropagation, plant growth regulators, rooting, adaptation

Suggested citation: Shirnina I.V., Molkanova O.I., Yakimova O.S., Semenova D.A. *Osobennosti klonal'nogo razmnozheniya pavlovnii voylochnoy (Paulownia tomentosa)* [Features of *Paulownia tomentosa* clonal propagation]. Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin, 2024, vol. 28, no. 1, pp. 89–96. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-1-89-96

References

- [1] Tkachenko K.N. *Adamovo derevo, ili tsarstvennaya pavlovninya* [Adam's tree, or royal paulownia]. V mire rasteniy [In the world of plants], 2013, no. 12, pp. 26–29.
- [2] Owfi R.E. Ecophysiological study of *Paulownia tomentosa*. International J. of Current Research, 2021, v. 9 (12), pp. 63582–63591.
- [3] *Paulownia tomentosa* (Thunb.) Steud. in Flora of China. Available at: http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=2&taxon_id=200020800 (accessed 29.11.2023).
- [4] Salkic B., Salkic A., Keran H., Noćajević S., Salkic E., Imširović E. Production of Seedlings of Fast – Growth Tree of *Paulownia elongata* S. Y. Hu. New Perspectives in Agriculture and Crop Science, 2018, v. 1, pp. 1–8. DOI: 10.9734/bpi/npcas/v1

- [5] Taxonomic Information on Cultivated Plants in GRIN-Global. Available at: <https://www.nordic-baltic-genebanks.org/grin-global/taxon/abouttaxonomy?language=en&chapter=intro> (accessed 29.11.2023).
- [6] Jakubowski M. Cultivation potential and uses of paulownia wood: a review. *Forests*, 2022, v. 13 (5), pp. 1–15. <https://doi.org/10.3390/f13050668>
- [7] Zhirenko D.I., Mezentseva D.D. *Ispol'zovaniye pavlovskoy voylochnoy dlya ozeleneniya naseleennykh punktov* [Use of tomentose paulownia for landscaping of populated areas]. *Konsolidatsiya intellektual'nykh resursov kak fundament razvitiya sovremennoy nauki: sb. statey V Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Consolidation of intellectual resources as the foundation for the development of modern science. Collection of articles of the V International scientific and practical conference]. Petrozavodsk, 2021, pp. 77–80.
- [8] Firsov G.A. *Drevesnye ekzoty i aborigeny i izmeneniya teploobespechennosti v Sankt-Peterburge* [Tree exotics and natives and changes in heat supply in St. Petersburg]. *Byulleten' Glavnogo botanicheskogo sada* [Bulletin of the Main Botanical Garden], 2021, no. 1, pp. 30–39.
- [9] Pasiecznik N. *Paulownia tomentosa* (paulownia): CABI Compendium. CABI International. Available at: <https://www.cabi-digitalibrary.org/doi/10.1079/cabicompendium.39100> (accessed 24.10.2022).
- [10] Icka P., Damo R., Icka E. Paulownia Tomentosa, a Fast Growing Timber. *Annals «Valahia» University of Targoviste — Agriculture*, 2016, v. 10(1), pp. 14–19. DOI:10.1515/AGR-2016-0003
- [11] Qu F.J., Zhang X.Z., Yao M., Yang L., Chen H., Gong J., Ni S.F. The progress of pharmaceutical research on Paulownia Sieb. et Zucc. *J. of Anhui Agricultural Sciences*, 2011, v. 39 (32), pp. 19809–19810.
- [12] He T., Vaidya B., Perry Z., Parajuli P., Joshee N. Paulownia as a Medicinal Tree: 204 Traditional Uses and Current Advances. *J. of Medicinal Plants*, 2016, v. 14(1), pp. 1–15. DOI: 10.9734/EJMP/2016/25170
- [13] Chunchukov A., Yancheva S. Micropropagation of *Paulownia* species and hybrids. *First National Conference of Biotechnology*, 2014, v. 100 (4), pp. 223–230.
- [14] *Pavlovniya v Rossii* [Pavlovnia in Russia]. Available at: <https://paulownia-russia.com/paulownia-in-russia-guide>. (accessed 28.11.2023).
- [15] Stepchich A. Environmental Aspects in Cultivation of Paulownia in Bulgaria. *Book of Proceedings. VIII Int. Sci. Agriculture Symp. «Agrosym 2017»*, Jahorina, October 5–8, 2017 / Ed. D. Kovačević. East Sarajevo: Faculty of Agriculture, 2017, pp. 1704–1709.
- [16] Tyshchenko E.L., Yakuba Yu.F. *Pavlovniya voylochnaya kak bioindikator stepeni zagryaznennosti pochv* [Paulownia tomentosa as a bioindicator of the degree of soil contamination]. *Plodovodstvo i vinogradstvo Yuga Rossii* [Fruit growing and viticulture of the South of Russia], 2014, no. 26 (02), pp. 18–27.
- [17] Komán S. Quality characteristics of the selected variant of *Paulownia tomentosa* (Robust4) wood cultivated in Hungary. *Maderas-Cienc Tecnol*, 2022, v. 25, pp. 1–13. DOI:10.4067/S0718-221X2023005XXXXXX
- [18] Rai A.K., Singh S.P., Luxmi C., Savita G. *Paulownia fortunei* — a new fiber source 230 for pulp and paper. *Indian Pulp Pap Tech Assoc*, 2000, v. 12, pp. 51–56.
- [19] Shurganov B.V., Mishutkina Ya.V., Neskorodov Ya.B. *Razrabotka effektivnoy sistemy regeneratsii Paulownia Shan Tong (P. fortunei x P. tomentosa)* [Development of an effective regeneration system for Paulownia Shan Tong (*P. fortunei* x *P. tomentosa*)]. *Vestnik Rossiyskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Agronomiya i zhivotnovodstvo* [Bulletin of the Russian Peoples' Friendship University. Series: Agronomy and Animal Husbandry], 2015, no. 3, pp. 47–55.
- [20] Gazizullin A.Kh. *Sovremennoe sostoyanie lesnoy biotekhnologii v mire i v Rossii* [Current state of forest biotechnology in the world and in Russia]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Kazan State Agrarian University], 2012, t. 7, no. 4(26), pp. 94–98.
- [21] Ivanova A.V. *Mekhanizm stimulirovaniya sprosa na innovatsionnye produkty lesnykh biotekhnologiy* [Mechanism for stimulating demand for innovative products of forest biotechnologies]. *Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika* [Current directions of scientific research of the XXI century: theory and practice], 2017, no. 1, pp. 406–410.
- [22] Paulownia Pao Tong Z07 (Fortunei x Tomentosa x Kawakami) «Superhybrid». Available at: <https://paulownia.pro/en/paulownia-pao-tong-z07> (accessed 29.11.2023).
- [23] Vetchinkina E.M., Shirmina I.V., Shirnin S.Yu., Molkanova O.I. *Sokhraneniye redkikh vidov rasteniy v geneticheskikh kollekt-siyakh in vitro* [Preservation of rare plant species in genetic collections in vitro]. *Vestnik Rossiyskogo gosudarstvennogo universiteta im. I. Kanta* [Bulletin of the Russian State University. I. Kanta], 2012, no. 7, pp. 109–118.
- [24] Chunchukov A., Yancheva S. Micropropagation of Paulownia species and hybrids. *First National Conference of Biotechnology*, Sofia, 2014, v. 100, book 4, pp. 223–230.
- [25] Mursaliyeva V.K., Nam S.V., Kozhebayeva ZH.S., Mukhanov T.M., Imanbayeva A.A. *Mikroklonal'noye razmnzheniye redkikh vidov i kollektionnykh rasteniy Mangyshlaksckogo eksperimental'nogo botanicheskogo sada* [Microclonal propagation of rare species and collection plants of the Mangyshlak experimental botanical garden]. Almaty, 2020, p. 4–6.
- [26] Clapa D., Fira A., Buduroi D., Simu M., Balcu Vasu L., Buduroi D. Improved in vitro propagation of *Paulownia elongata*, *P. fortunei* and its interspecific hybrid *P. elongata* x *P. fortunei*. *Agricultural and Food Sciences*, 2014, v. 74 (1), pp. 7–14. DOI: <https://doi.org/10.15835/buasvmcn-hort:9732>
- [27] Zharasova D.N., Tolep N.A. *Mikroklonal'noye razmnzheniye pavlovniy voylochnoy* [Microclonal propagation of *Paulownia tomentosa*]. *Problemy botanikov Yuzhnogo Sibiri i Mongolii* [Problems of botany in Southern Siberia and Mongolia], 2022, v. 21, no. 1, pp. 125–132.
- [28] Shtereva L., Vassilevska-Ivanova R., Karceva T., Kraptchev B. Micropropagation of six Paulownia genotypes through tissue culture. *J. of Central European Agriculture*, 2014, v. 15 (4), pp. 147–156.
- [29] Dimps R.C., Cheng-Jin G., Prakash P.K. High frequency adventitious shoot regeneration from excised leaves of *Paulownia* spp. cultured *in vitro*. *Plant. Cell Reports*, 1996, v. 16, pp. 204–209.
- [30] Ipekci Z., Altinkut A., Kazan K., Bajrovic K., Gozukirmizi N. High frequency plant regeneration from nodal explants of *Paulownia elongata*. *Plant biol.*, 2001, no. 3, pp. 113–115.
- [31] Yang J.C., Chang S.H., Ho C.K. Micropropagation of *Paulownia taiwaniana* from mature tissues. *Ann. Sci. For.*, 1989, v. 46, pp. 165–167.

- [32] Bergmann B.A., Moon H.-K. *In vitro* adventitious shoot production in *Paulownia*. Plant Cell Reports, 1997, v. 16, pp. 315–319.
- [33] Butenko R.G. *Kul'tura izolirovannykh tkaney i fiziologiya morfogeneza rasteniy* [Culture of isolated tissues and physiology of plant morphogenesis]. Moscow: Nauka, 1964, 272 p.
- [34] Murashige T., Skoog F. A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. Plant Physiology, 1962, v. 15, pp. 473–497.
- [35] Kalashnikova E.A. *Vliyaniye faktorov gormonal'noy i negormonal'noy prirody na morfogeneticheskiy potentsial intaknykh rasteniy pshenitsy v kul'ture in vitro* [Influence of factors of hormonal and non-hormonal nature on the morphogenetic potential of intact wheat plants in *in vitro* culture]. Sel'skokhozyaystvennaya biotekhnologiya [Agricultural biotechnology], 2000, t. 2, pp. 71–80.
- [36] Molkanova O.I., Gorbunov Yu.N., Shirnina I.V., Egorova D.A. *Primeneniye biotekhnologicheskikh metodov dlya sokhraneniya genofonda redkikh vidov rasteniy* [Application of biotechnological methods for preserving the gene pool of rare plant species]. Botanicheskiy zhurnal [Botanical Journal], 2020, t. 105 (6), pp. 610–619.

The work was carried out within the framework of the State assignment of the GBS RAS (No. 075-00745-22-01).

Authors' information

Shirnina Irina Vasil'evna — Researcher of Plant Biotechnology Laboratory, Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences, ishirnina@list.ru

Molkanova Ol'ga Ivanovna — Cand. Sci. (Agriculture), Leading researcher, Head of Plant Biotechnology Laboratory, Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences, molkanova@mail.ru.

Yakimova Ol'ga Sergeevna — Engineer of Plant Biotechnology Laboratory, Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences, yakimova@mail.ru.

Semenova Daria Aleksandrovna — Junior researcher of Plant Biotechnology Laboratory, Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences, dariaegor11@gmail.com.

Received 20.01.2023.

Approved after review 19.05.2023.

Accepted for publication 21.12.2023.

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

РЕДКИЕ ВИДЫ ОРХИДЕЙ (ORCHIDACEAE) ДЕНДРАРИЯ ГОРНОТАЕЖНОЙ СТАНЦИИ ИМ. В.Л. КОМАРОВА ДВО РАН И СОПРЕДЕЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЙ (ПРИМОРСКИЙ КРАЙ, ДАЛЬНИЙ ВОСТОК РОССИИ)

Л.А. Федина✉, С.К. Малышева, Е.Н. Репин

Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии Дальневосточного отделения Российской академии наук, Россия, 690022, г. Владивосток, пр-т 100-летия Владивостока, д. 159

triton.54@mail.ru

Приведены сведения о местонахождении 11 видов растений семейства орхидных (Orchidaceae Juss) естественной флоры дендрария Горнотаежной станции им. В.Л. Комарова Дальневосточного отделения Российской академии наук и его окрестностей, в том числе экологического профиля «Горнотаежный» (юг Приморского края Дальнего Востока России), которые расположены в пределах широколиственных лесов, преимущественно дубняков вторичного происхождения. Впервые указаны виды орхидей, включенные в Красные книги Российской Федерации и Приморского края — глянцелистник японский (*Liparis japonica* (Miq.) Maxim), глянцелистник Кумокири (*Liparis kumokiri* F. Maek.), гнездоцветка клубучковая (*Ponerorchis cucullata* (L.) X.H. Jin, Schuit. et W.T. Jin.) и нуждающиеся в охране в лесных ассоциациях — тулотис бурейущий (*Tulotis fuscescens* (L.) Czer.), гнездовка сосочконосная (*Neottia papilligera* Schlechter), любка густая (*Platanthera densa* Freyn). Приведены фитоценоотические описания местообитаний венерина башмачка настоящего (*Cypripedium calceolus* L.), венерина башмачка пятнистого (*C. guttatum* Sw.), венерина башмачка крупноцветкового (*C. macranthon* Sw.), венерина башмачка вздутого (*C. ventricosum* Sw.), горноятрышника раскидистого (*Oreorchis patens* (Lindl.) Lindl.), гнездоцветки клубучковой (*Ponerorchis cucullata*), глянцелистника японского (*Liparis japonica*), глянцелистника Кумокири (*L. kumokiri*), тулотиса бурейущего (*Tulotis fuscescens*), любки густой (*Platanthera densa*), гнездовки сосочконосной (*Neottia papilligera*), как из известных ранее, так и из вновь обнаруженных локалитетов. Установлено, что наиболее многочисленными на исследованных участках (более 100 растений) являются популяции любки густой (*Platanthera densa*). Единично (2–3 экземпляра) встречаются горноятрышник раскидистый (*Oreorchis patens*), гнездоцветка клубучковая (*Ponerorchis cucullata*) и тулотис бурейущий (*Tulotis fuscescens*). Все виды растений семейства орхидных нуждаются в охране, поэтому необходимо проведение противопожарных мероприятий на обследованной территории. В дендрарии Горнотаежной станции ДВО РАН требуется контроль рекреационных нагрузок.

Ключевые слова: флористические находки, орхидные, редкие виды, дендрарий Горнотаежной станции ДВО РАН, экологический профиль, Приморский край

Ссылка для цитирования: Федина Л.А., Малышева С.К., Репин Е.Н. Редкие виды орхидей (Orchidaceae) дендрария Горнотаежной станции им. В.Л. Комарова ДВО РАН и сопредельных территорий (Приморский край, Дальний Восток России) // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2024. Т. 28. № 1. С. 97–107. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-1-97-107

В Приморском крае России численность популяций видов семейства Orchidaceae Juss. в настоящее время неуклонно сокращается вследствие усиления антропогенного воздействия на природные сообщества [1–3]. На российском Дальнем Востоке семейство орхидных представлено 69 видами, из них 64 занесены в Красные книги различного ранга, и их охрана осуществляется на региональном, федеральном и международном уровнях. В Приморском крае произрастает 44 вида орхидей, из которых 20 видов включены в региональную Красную книгу [4–8].

Флора Приморского края характеризуется высоким уровнем биоразнообразия, благодаря особенностям исторического развития, сохранение

которого обеспечивается функционированием заповедных и особо охраняемых природных территорий (ООПТ) регионального значения, в частности дендрариев и природных парков [9–11]. Мониторинг охраняемых видов на ООПТ позволяет выделять наиболее ценные участки и планировать проведение дальнейших охранных мероприятий [12–14].

Горнотаежная станция им. В.Л. Комарова ДВО РАН (далее — Горнотаежная станция) является первым комплексным научно-исследовательским учреждением на Дальнем Востоке, созданным в 1932 г. на землях, сопредельных с Уссурийским государственным природным заповедником им. В.Л. Комарова. Территория Горнотаежной станции и прилегающих лесов находится в бессрочном пользовании Минобрнауки России,

занимая площадь в 4747 га в отрогах гор Пржевальского в южной части горной системы Сихотэ-Алинь. Дендрарий Горнотаежной станции был заложен в 1935 г. и в настоящее время занимает площадь около 100 га. Экспозиционные участки расположены среди естественного леса и созданы на освобожденных от лесной растительности землях [15]. Виды орхидных в дендрарии являются сохранившимися элементами природной флоры. В последней инвентаризационной сводке для территории дендрария приводятся пять таксонов орхидей: венерин башмачок настоящий (*Cypripedium calceolus*), венерин башмачок пятнистый (*C. guttatum*), венерин башмачок крупноцветковый (*C. macranthon*), горноятрышник раскидистый (*Oreorchis patens*), пузатка высокая (*Gastrodia elata* Blume) [16, 17]. Дендрарий Горнотаежной станции — популярный туристический объект, отличающийся повышенной нагрузкой на травяной покров.

Экологический профиль «Горнотаежный» был заложен в 1991 г. на склонах северной и южной экспозиций в производных лесах широколиственной формации Южного Приморья в целях мониторинга восстановительных процессов в типовых лесных формациях. На северных склонах сформировались многопородные широколиственные леса, на южных — произрастают дубняки вторичного происхождения [18–20]. На экологическом профиле из рода *Cypripedium* L. произрастают венерин башмачок настоящий (*Cypripedium calceolus*), венерин башмачок пятнистый (*C. guttatum*), венерин башмачок крупноцветковый (*C. macranthon*), венерин башмачок вздутый (*C. x ventricosum* Sw.) [21].

Цель работы

Цель работы — выявление видового состава орхидных и комплексная характеристика популяций представителей семейства орхидные (Orchidaceae) в дубовых и широколиственных лесах дендрария Горнотаежной станции и сопредельных территорий (юг Приморского края).

Материалы и методы

Основой для проведения работ послужили собственные исследования, литературные данные [7, 22–32], гербарные фонды Федерального научного центра биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии Дальневосточного отделения Российской академии наук (далее — ФНЦ биоразнообразия наземной биоты ВА ДВО РАН), ФГБУН Ботанического сада-института ДВО РАН (далее — сад-институт), Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН (далее — ботанического института). Названия растений приведены по сводке «Сосудистые растения советского Даль-

него Востока» [33] с учетом данных International Plant Names Index (IPNI) [34]. Гербарные образцы орхидных растений переданы в региональный гербарий (VLA). Исследования проведены на трех участках: территории дендрария Горнотаежной станции ДВО РАН, в окрестностях с. Горно-Таежное и экологическом профиле «Горнотаежный». Данная территория относится к Уссурийскому городскому округу (УГО) Приморского края.

Дендрарий Горнотаежной станции расположен в 25 км от г. Уссурийска на отрогах горной системы Сихотэ-Алинь среди дубово-широколиственных лесов. Территория дендрария занимает преимущественно склоны южной и северной экспозиций крутизной 6...15°. Максимальная отметка высоты — 187 м н. у. м.

Экологический профиль «Горнотаежный» представляет собой трансекту шириной 10...20 м, пересекающую бассейн ручья Дегтярева от водораздела по юго-юго-восточному (100 м) и до водораздела по северо-северо-западному (610 м) склонам. Трансекта начинается от северного склона в 350...400 м западнее территории Уссурийского отдела Института прикладной астрономии (ИПА) РАН (далее — ИПА РАН) и проходит через серию производных типов леса широколиственной формации [18].

Результаты и обсуждение

Проведенные нами флористические исследования (2011–2022 гг.) показали, что на экологическом профиле «Горнотаежный» из видов *Cypripedium* более распространены венерин башмачок настоящий (*Cypripedium calceolus*) и венерин башмачок крупноцветковый (*C. macranthon*). На территории дендрария Горнотаежной станции не выявлена пузатка высокая (*Gastrodia elata*), входящая в первоначальные списки травянистых растений [16, 17]. Наиболее часто на обследованных участках дендрария можно встретить любку густую (*Platanthera densa*). В список сосудистых растений дендрария Горнотаежной станции впервые включены следующие виды орхидей: глянцелистник японский (*Liparis japonica*.), глянцелистник Кумокири (*Liparis kumokiri*.), гнездовка сосочконосная (*Neottia papilligera*), любка густая (*Platanthera densa*), гнездоцветка клобучковая (*Ponerorchis cucullate*). На обследованных участках редко встречаются горноятрышник раскидистый (*Oreorchis patens*), гнездоцветка клобучковая (*Ponerorchis cucullate*) и тулотис буреющий (*Tulotia fuscescens*) — единичные экземпляры, как на особо охраняемой территории, так и за ее пределами. Всего установлено произрастание 11 видов семейства орхидные (рис. 1).

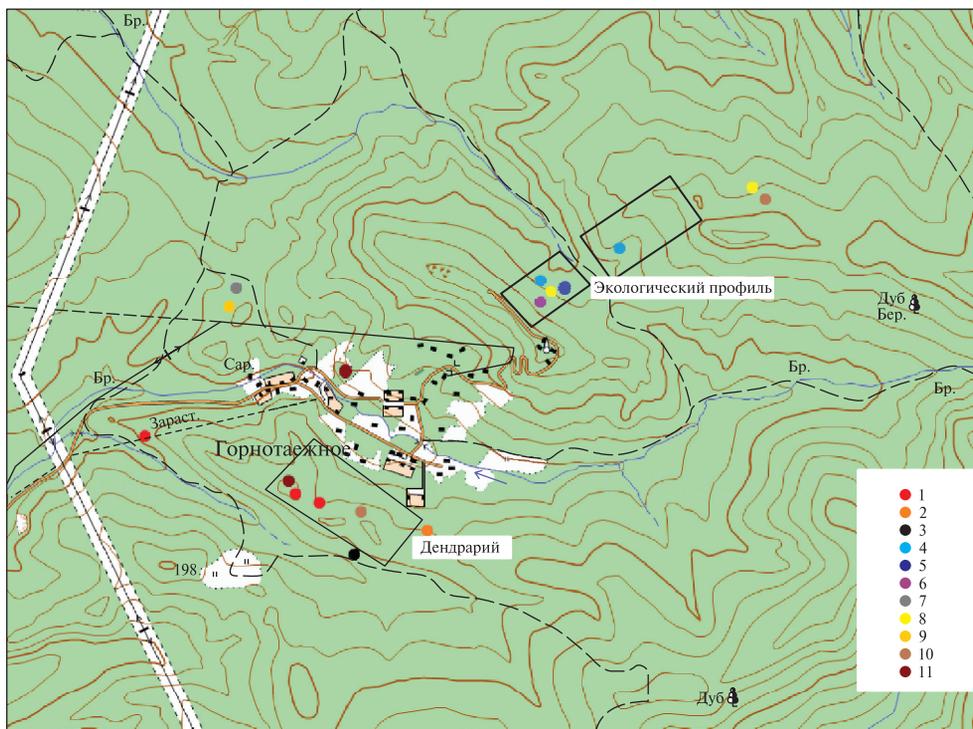


Рис. 1. Местонахождения орхидей на исследованных участках территории и окрестностей Горнотаежной станции: 1 — *Liparis japonica*; 2 — *L. kumokiri*; 3 — *Ponerorchis cucullata*; 4 — *Cypripedium calceolus*; 5 — *C. macranthos*; 6 — *C. ventricosum*; 7 — *C. guttatum*; 8 — *Oreorchis patens*; 9 — *Tulotis fuscescens*; 10 — *Neottia papilligera*; 11 — *Platanthera densa*

Fig. 1. The locations of orchid in the studied areas of the territory and surroundings of the Gornotaezhnyaya station: 1 — *Liparis japonica*; 2 — *L. kumokiri*; 3 — *Ponerorchis cucullata*; 4 — *Cypripedium calceolus*; 5 — *C. macranthos*; 6 — *C. ventricosum*; 7 — *C. guttatum*; 8 — *Oreorchis patens*; 9 — *Tulotis fuscescens*; 10 — *Neottia papilligera*; 11 — *Platanthera densa*

Венерин башмачок настоящий — *Cypripedium calceolus* L. На северном склоне экологического профиля «Горнотаежный» отмечено 15 экземпляров башмачков, из них два растения в фазе бутонизации, период цветения с 01.06. по 16.06.2022. Наибольшая высота растений 40 см, размеры листа 7,5×14 см. Тип леса — дубняк с кленом ложнозибольдовым спиреевый разнотравный сухой. Координаты постоянной пробной площади — 43°42'36,5" с. ш. и 132°09'75,3" в. д. В древостое доминируют: дуб монгольский (*Quercus mongolica* Fisch. ex Ledeb.) и клен ложнозибольдов (*Acer pseudosieboldianum* (Pax) Kom.), обычны клен мелколистный (*Acer mono* Maxim.) и береза даурская (*Betula davurica* Pall.), единично встречаются: мелкоплодник ольхолистный (*Micromeles alnifolia* (Siebold. et Zucc.) Koehne) и калопанакс семилопастной (*Kalopanax septemlobum* (Thunb.) Koidz.). Подлесок образуют группировки спиреи уссурийской (*Spiraea ussuriensis* Pojark.), одиночными особями растут леспедеца двуцветная (*Lespedeza bicolor* Turcz.) и бересклет малоцветковый (*Euonymus pauciflora* Maxim.), встречаются разрозненные особи рододендрона остроконечного (*Rhododendron mucronulatum* Turcz.) и жимолости Максимовича (*Lonicera*

maximowiczii (Rupr.) Regel). В травяном ярусе высоко обилие василистника клубненосного (*Thalictrum tuberiferum* Maxim.), весной — ветровочника удского (*Anemonoides udensis* Trautv. et Mey.). Травяной ярус хорошо развит, травянистая растительность отсутствует только под кронами куртин подлеска [18]. Этот локалитет подвержен антропогенному воздействию (сбор на букеты), поэтому численность данной популяции сокращается. Вид внесен в Красные книги Российской Федерации [35] и Приморского края [6].

Венерин башмачок крупноцветковый — *Cypripedium macranthos* Sw. Описание выполнено 09.06.2022, с участка со спиреей уссурийской (*Spiraea ussuriensis*), где данный вид произрастает совместно с венериным башмачком настоящим (*Cypripedium calceolus*). Обнаружено 19 экземпляров разновозрастных особей в период цветения. Популяционный локус венерина башмачка крупноцветкового состоит из 10 цветущих растений (конец цветения), причем у двух растений по два цветка на стебле 40 см высотой. Практически все цветущие особи пятилистные, но и четырехлистные бывают с цветом, как в данной популяции. Две особи — четырехлистные, четыре — трехлистные, две — двухлистные и одна

однолистная. В это время начинается цветение у кустарников: дейция амурская (*Deutzia amurensis* (Regel) Airy-Shaw), чубушник тонколистный (*Philadelphus tenuifolius* Rupr. et Maxim.). Вид орхидеи внесен в Красные книги Российской Федерации и Приморского края.

Венерин башмачок вздутоцветковый — *C. ventricosum* Sw. Гибридогенный вид, отмечаемый на экологическом профиле в местах совместного произрастания венерина башмачка крупноцветкового (*C. macranthon*) и венерина башмачка настоящего (*C. calceolus*). Обнаружена куртина из 10 растений, (01.06.2022). Произрастает в дубняке с березой даурской (*Betula davurica*), липой амурской (*Tilia amurensis* Rupr.) и кленом ложнозiboldовым (*Acer pseudosieboldianum*). В фазе цветения было семь экземпляров — на двух растениях по два цветка, на остальных по одному. В подлеске: спирея уссурийская (*Spiraea ussuriensis*), жимолость раннецветущая (*Lonicera praeflorens* Batal.), виноград амурский (*Vitis amurensis* Rupr.), лещина маньчжурская (*Corylus mandshurica* Maxim.). Основу травянистого яруса составили: ландыш Кейске (*Convallaria keiskei* Miq.), ластовень заостренный (*Vincetoxicum acuminatum* Despe.), косоплодник сомнительный (*Plagiorhegma dubia* Maxim.), василистник нитчатый (*Thalictrum filamentosum* Maxim.). По данным Т.А. Москалюк [21], *Cypripedium* × *ventricosum* Sw. был ранее более обилен в окрестностях с. Горно-Таежное, чем другие виды венерина башмачка (*Cypripedium*). Однако массовые сборы местными жителями на букеты и выкапывание растений для посадки на приусадебных участках способствовали сокращению численности этого редкого вида. Вид занесен в Красные книги Российской Федерации и Приморского края.

Горноятрышник раскидистый — *Oreorchis patens* (Lindl.) Lindl. Спорадически произрастает (по 1–2 растения) в разных типах леса на всем протяжении трансекты северного склона экологического профиля «Горнотаежный» (всего 11 разновозрастных экземпляров). Северному склону экологического профиля «Горнотаежный» свойственны многообразие видового состава растений древесного яруса, довольно густой подлесок и наличие внеярусной растительности (лианы). Древостой разновозрастный, двухъярусный.

Первый ярус образован дубом монгольским (*Quercus mongolica*), липами амурской и маньчжурской (*Tilia amurensis*, *T. mandshurica* Rupr.), березой даурской (*Betula davurica*), орехом маньчжурским (*Juglans mandshurica* Maxim.), двумя видами ясеня: носолистным и маньчжурским (*Fraxinus rhynchophylla* Hance., *F. mandshurica*), кленом мелколистным (*Acer mono*), ильмом япон-

ским (*Ulmus japonica* (Rehd.) Sarg) и калопанаксом семилопастным (*Kalopanax septemlobus*).

Во втором ярусе преобладают клен ложнозiboldов (*Acer pseudosieboldianum*), маакция амурская (*Maackia amurensis* Rupr. et Maxim.), граб сердцелистный (*Carpinus cordata*), вяз (ильм) лопастный *Ulmus laciniata* (Trautv.) Mayr

В подлеске растут элеутерококк колючий (*Eleutherococcus senticosus*) и чубушник тонколистный (*Philadelphus tenuifolius*); обычны лещина маньчжурская (*Corylus mandshurica*), бересклет малоцветковый (*Euonymus pauciflora*), редкие — смородина маньчжурская (*Ribes mandshuricum*), жимолость раннецветущая (*Lonicera praeflorens*) и ж. золотистая (*L. chrysantha*), рябинник рябинолистный (*Sorbaria sorbifolia*), калина Саржента (*Viburnum sargentii*).

Внеярусная растительность представлена лимонником китайским (*Schisandra chinensis*), актинидией острой (*Actinidia argute* (Sieb. et Zucc.) Planch. ex Miq.), а. коломикта (*A. kolomikta* (Maxim. et Rupr.) Maxim.), виноградом амурским (*Vitis amurensis*).

В травяном покрове преобладает лесное разнотравье: подмаренник даурский (*Galium davuricum* Turcz. Ex Ledeb.), подлесник красноцветковый (*Sanicula rubriflora* Turcz. Fr. Schmidt et Maxim.), звездчатка двуцветная (*Stellaria discolor* Turcz.) и др.; широко представлены весенние эфемероиды: желтоцвет амурский (*Chrysocyathus amurensis* (Regel et Radde) Holub, ветровочник амурский (*Anemonoides amurensis* (Korsh.) Holub.), лесной мак весенний (*Hylomecon vernalis* Maxim.), папоротники: адиантум стоповидный (*Adiantum pedatum* L.), чистоустник азиатский (*Osmundastrum asiaticum* (Fern.) Tagawa, щитовник Геринга (*Dryopteris goeringiana* (G. Kunze) Koidz.), лунокучник густосорусовый (*Lunathyrium rucnosorum* (H. Christ) Koidz.), страусник обыкновенный (*Matteuccia struthiopteris* (L.) Todaro), мезофитные осоки: о. кривоносовая (*Carex campylorhina* V. Krecz.), о. ржавопятнистая (*C. siderosticta* Hance). Почва северного склона мощная, с хорошо выраженным гумусовым горизонтом, хорошо дренированная, влажная без признаков переувлажнения.

Венерин башмачок крапчатый — *C. guttatum* Sw. *C. guttatum* обнаружен нами в нетипичном месте произрастания (30.05.2019) — в лиственном лесу производного типа с участием березы плосколистной (*Betula platyphylla* Sukacz.), ольхи волосистой (*Alnus hirsuta* (Spach) Fisch. ex Rupr.), ясеня носолистного (*Fraxinus rhynchophylla*), ивы (*Salix* sp.). В подлеске: спирея иволистная (*Spiraea salicifolia* L.), редко калина Саржента (*Viburnum sargentii* Koehne) и шиповник даурский (*Rosa davurica* Pall.). Напочвенный покров представлен осоками, папоротниками. Почва влажная,

временами по сезону сырая. Гумусовый горизонт хорошо выражен.

Всего в этом месте растут 10 разновозрастных особей венерина башмачка крапчатого (*C. guttatum*), из них три растения на момент нахождения были в цветущем состоянии (7 июня). Местоположение данного локалитета: 43°42'06" с. ш., 132°08'55" в. д., высота 148 м н. у. м., расстояние от условной западной границы поселения 500 м. Вид внесен в Красную книгу Приморского края.

В этом же месте на возвышенности в более ксерофитных условиях произрастания, обнаружены два цветущих экземпляра тулотиса буреющего (*Tulotia fuscescens*, 26.06.2015). В почве также хорошо выражен гумусовый горизонт, однако она более сухая, без признаков сезонного переувлажнения. Древостой представлен дубом монгольским (*Quercus mongolica*) с участием березы даурской (*Betula davurica*), единично присутствуют ясень носолистный (*Fraxinus rhynchophylla*) и яблоня маньчжурская (*Malus mandshurica* Maxim.) Kom.) В подлеске: спирея иволистная (*Spiraea salicifolia* L.) и леспедеца двуцветная (*Lespedeza bicolor*). Напочвенный покров представлен в основном осоками (*Carex* sp.), редко встречаются горошек однопарный (*Vicia unijuga* A. Br.) и папоротники.

Глянцелистник японский — *Liparis japonica* (Miq.) Maxim. Глянцелистник японский обнаружен на Центральном (10 экземпляров, 43°41'30" с. ш., 132°9'10" в. д.) и Восточно-Азиатском (19 растений, 43°41'32" с. ш., 132°9'6" в. д.) участках дендрария Горнотаежной станции. Популяции данного вида на территории дендрария неустойчивы вследствие слабого вегетативного размножения и периодического вытаптывания посетителями. В целом на исследуемой территории вид встречается довольно редко.

Кроме того, глянцелистник японский был найден (04.07.2022) в окрестностях с. Горно-Таежное (в 300 м от условной границы села на юго-запад) возле посадок сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в количестве 5 экз. (из них 2 экз. цвели). Там же в низине возле болотистого водоема (43°41'22" с. ш., 132°07'59" в. д., высота 107 м н. у. м.) были обнаружены еще четыре растения (одно растение в фазе цветения, другое — в фазе бутонизации). Вид занесен в Красные книги Российской Федерации и Приморского края.

Глянцелистник Кумокири — *Liparis kumokiri* F. Maek. Обнаружен на зарастающей лесной опушке, примыкающей к Американскому участку на северном склоне (43°41'25" с. ш., 132°9'35" в. д.). Растения в количестве 7 экз. были в цветущем состоянии (только одно растение с плодами, 14.07.2022). Древостой: дуб монгольский (*Quercus mongolica*), береза даурская (*Betula*



Рис 2. *Liparis kumokiri* в дендрарии Горнотаежной станции (14.07.2022)

Fig. 2. *Liparis kumokiri* in the arboretum GTS FEB RAS (14.07.2022)

davurica), осина дрожащая (*Populus tremula* L.), единично встречается ива тонкостолбиковая (*Salix gracilistyla* Miq.). В подлеске преобладают чубушник тонколистный (*Philadelphus tenuifolius*), лещина маньчжурская (*Corylus mandshurica*), бересклет малоцветковый (*Euonymus pauciflora*), клен мелколистный (*Acer mono*). Травяной ярус выражен слабо, встречаются косоплодник сомнительный (*Plagiorhegma dubia* Maxim.), недоселка ушастая (*Cacalia auriculata* DC.), н. копьевидная (*C. hastata* L.), диоскорея ниппонская (*Dioscorea nipponica* Makino), борец пазушноцветковый (*Aconitum axilliflorum* Worosh.). Вид орхидеи внесен в Красные книги Российской Федерации и Приморского края. На территории дендрария известен из единственного местонахождения (рис. 2).

Любка густая — *Platanthera densa* Freyn. В дендрарии Горнотаежной станции любка густая встречается на опушке широколиственного леса с преобладанием ореха маньчжурского (*Juglans mandshurica* Maxim.) на Ореховом участке (43°41'34" с. ш., 132°8'53" в. д.) Природная популяция орхидеи состоит из сотни разновозрастных особей, рассеянных по всему периметру открытой территории. Преобладающее количество растений массово цвело (04.07.2022) с последующим плодообразованием. Популяция любки густой стабильна и не испытывает антропогенного воздействия (рис. 3).



Рис. 3. *Platanthera densa* Freyn в дендрарии Горнотаежной станции (04.07.2022)

Fig. 3. *Platanthera densa* Freyn in the arboretum GTS FEB RAS (04.07.2022)



Рис. 4. *Neottia papilligera* в дендрарии Горнотаежной станции (27.06.2019)

Fig. 4. *Neottia papilligera* in the arboretum GTS FEB RAS (27.06.2019)

Второе местоположение ценопопуляции любки густой находится в окрестностях с. Горно-Таежное, в 50 м к западу от условной границы села. Высота над уровнем моря 130 м (43°41'51" с. ш., 132°09'12" в. д.), средняя часть восточного склона характеризуется крутизной 15...20°. Это местонахождение любки густой находится под

наблюдением более 10 лет (2010–2022). Здесь произрастает 10 растений этого вида, ежегодно цветет половина из них, остальные особи в это время находятся в состоянии вегетации. В отдельные годы некоторые экземпляры не удается обнаружить на привычном месте, возможно, они переходят в состояние покоя. Лиственный лес характеризуется преобладанием дуба монгольского (*Quercus mongolica*) с участием ореха маньчжурского (*Juglans mandshurica* Maxim.), ясеня носолистного (*Fraxinus rhynchophylla*) и ильма японского (*Ulmus japonica* Rehd. Sarg.). Подлесок редкий, встречаются бересклет малоцветковый (*Euonymus pauciflora*) и б. священный (*E. sacrosancta* Koidz.), леспедеца двуцветная (*Lespedeza bicolor*). Напочвенный покров представлен в основном осоками (*Carex* sp.), реже купеной обвертковой (*Polygonatum involucreatum* Franch. et Savat), горошком однопарным (*Vicia unijuga* A. Br.), полынью Гмелина (*Artemisia gmelinii* Web. ex Stechm.). В почве преобладает дресва, периодическая сухость, гумусовый горизонт маломощный.

Гнездовка сосочконосная — *Neottia papilligera* Schlechter. Гнездовка сосочконосная (рис. 4) произрастает в дубовом лесу между Американским участком дендрария и участком Водораздел (27.06.2019). Высота над уровнем моря 171 м. Координаты места нахождения 43°41'21" с. ш., 132°09'25" в. д. Четыре растения гнездовки сосочконосной произрастают в верхней части покатого южного склона, уклон не более 5° в дубняке с небольшим участием березы даурской (*Betula dahurica*). Подлесок редкий, представлен леспедецей двуцветной (*Lespedeza bicolor*) и бересклетом малоцветковым (*Euonymus pauciflorus*). Напочвенный покров характеризуется средней густотой, встречаются осоки (*Carex* sp.), реже полынь побегоносная (*Artemisia stolonifera* (Maxim.) Kom.), и орляк японский (*Pteridium japonicum* (Nakai) Tardieu-Blot et C. Chr.). Почва маломощная, периодически сухая.

Второе местонахождение гнездовки — 250 м к северу от водораздела экологического профиля «Горнотаежный» в широкой приручьевой террасе. Высота над уровнем моря 236 м (43°42'38" с. ш., 132°10'10" в. д.). Гнездовка сосочконосная обнаружена в количестве трех особей в смешанном лиственном лесу, где в первом ярусе произрастают дуб монгольский (*Quercus mongolica*), клен мелколистный (*Acer mono*), реже орех маньчжурский (*Juglans mandshurica*), во втором — маакия амурская (*Maackia amurensis*), клен ложнозибольдов (*Acer pseudosieboldianum*). В подлеске — чубушник тонколистный (*Philadelphus tenuifolius*), свободнаягодник колючий (*Eleutherococcus senticosus* (Rupr. et Maxim.) Maxim.), лещина маньчжурская (*Corylus mandshurica*). Напочвен-

ный покров средней густоты, встречаются осоки (*Carex sp.*), орляк японский (*Pteridium japonicum*), ландыш Кейске (*Convallari keiskei* Miq.), недоселка копьевидная (*Cacalia hastata*). Почва влажная, гумусовый горизонт хорошо выражен.

Здесь же, в 50 м от участка с гнездовкой сопочконосной (*Neottia papilligera*) обнаружены два цветущих растения горноятрышника раскидисто-го (*Oreorchis patens*) в одном месте.

Гнездоцветка клубочковая — *Ponerorchis cucullata* (L.) X.H. Jin, Schuit. et W.T. Jin. (*Neottianthe cucullata* (L.) Schltr.). Гнездоцветка клубочковая произрастает в нижней части южного склона, на участке естественного леса между Американским и Европейским участками дендрария Горнотаежной станции. Высота над уровнем моря 156 м, 43°41'18" с. ш., 132°09'21" в. д. Гнездоцветка здесь обнаружена в количестве двух особей. Тип леса: дубняк (*Quercus mongolica*). В подлеске лещина маньчжурская (*Corylus mandshurica*), редко леспедеца двуцветная (*Lespedeza bicolor*), жимолость Маака (*Lonicera maackii* (Rupr.) Herd). Напочвенный покров средней густоты, встречаются осоки (*Carex sp.*), орляк японский (*Pteridium japonicum*), василистник (*Thalictrum filamentosum* Maxim.), прутьевик вырезанный (*Plectranthus excisus* Maxim.). Почва влажная с выраженным гумусовым слоем. Вид внесен в Красные книги Российской Федерации и Приморского края.

Выводы

Проведенными исследованиями изучено 17 местопроизрастаний 11 видов семейства орхидные на экспериментальных участках и в лесных ассоциациях территории Горнотаежной станции. Из обследованных локалитетов редких растений 14 приводятся впервые для данной местности. Установлено произрастание следующих видов орхидей: *Cypripedium calceolus*, *C. guttatum*, *C. macranthon*, *C. ventricosum*, *Liparis japonica*, *L. kumokiri*, *Neottia papilligera*, *Oreorchis patens*, *Platanthera densa*, *Ponerorchis cucullata*, *Tulotis fuscescens*, семь из которых включены в Красные книги Российской Федерации и Приморского края. Представители орхидных на данной территории встречаются редко, большинство видов произрастает в дубовых лесах вторичного происхождения.

Основными факторами, угрожающими сообществам с редкими видами на юге Приморского края, являются пожары и неорганизованный туризм. Таким образом, лесные популяции орхидных (особенно на южных склонах, подверженных пирогенному фактору) необходимо обеспечить охраняемыми мероприятиями (в частности, создать минерализованные полосы и т. п.) от низовых пожаров. На экспозиционных участках дендрария

Горнотаежной станции необходимо контролировать рекреационные нагрузки в периоды массовых посещений. Находки новых местопроизрастаний орхидей на данной территории дополняют сведения о распространении редких и охраняемых видов Orchidaceae в южной части Приморья.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 121031000120-9).

Список литературы

- [1] Федина Л.А. Состояние орхидных в Уссурийском заповеднике (Южное Приморье) // Вестник ИрГСХА, 2014. № 65. С. 58–64.
- [2] Федина Л.А. Редкие растения Уссурийского заповедника, находящиеся на границе ареала (Приморский край) // Ботанический журнал, 2015. Т. 100. № 8. С. 841–849.
- [3] Вахрамеева М.Г., Варлыгина Т.И., Татаренко И.В. Орхидные России (биология, экология и охрана). М.: Товарищество научных изданий КМК, 2014. 437 с.
- [4] Вышин И.Б. Сем. ятрышниковые, или орхидные (Orchidaceae) // Сосудистые растения советского Дальнего Востока. Т. 8. СПб (Л.): Наука, 1996. С. 301–339.
- [5] Харкевич С.С., Качура Н.Н. Редкие виды растений советского Дальнего Востока и их охрана. М.: Наука, 1981. 234 с.
- [6] Красная книга Приморского края: Растения. Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды растений и грибов. Владивосток: АВК «Апельсин», 2008. 688 с.
- [7] Kozhevnikov A. E., Kozhevnikova Z. V., Kwak M., Lee B. Y. Illustrated flora of the Primorsky Territory (Russian Far East) // Incheon: Nat. Inst. Biol. Res., 2019. 1124 p.
- [8] Федина Л.А., Маркова Т.О., Маслов М.В. Новые местонахождения декоративной орхидеи *Spiranthes sinensis* (Orchidaceae) в Приморском крае // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки, 2022. Т. 52. № 5. С. 124–129.
- [9] Коркишко Р.И., Шибнева И.В. Орхидные заповедника «Кедровая Падь» // Растительный и животный мир заповедника «Кедровая Падь», 2006. С. 27–31.
- [10] Федина Л.А., Бурундукова О.Л. *Panax ginseng* (Araliaceae) в отрогах южного Сихотэ-Алиня: Уссурийский заповедник (Приморский край) // Известия Иркутского государственного университета. Серия Биология. Экология, 2020. Т. 32. С. 35–49.
- [11] Пименова Е.А., Баркалов В.Ю., Колдаева М.Н., Нестерова С.В. Редкие виды сосудистых растений на территории национального парка «Земля леопарда» (Приморский край, Россия) // Turczaninowia, 2016. Т. 19. № 2. С. 19–33.
- [12] Гладкова Г.А., Сибирина Л.А. Орхидные в лесах национального парка «Удэгейская легенда» // Вестник ДВО РАН, 2019. № 1 (203). С. 25–33.
- [13] Прокопенко С.В., Кудрявцева Е.П. Редкие и охраняемые сосудистые растения Ливадийского и Лозовского хребтов (южный Сихоте-Алинь, Приморский край) // Биота и среда природных территорий, 2021. № 4. С. 5–23.
- [14] Киселева А.Г. Оценка приморских экосистем по охраняемым растениям морских побережий и островов Приморского края // Геосистемы северо-восточной Азии: географические факторы динамики и развития

- их структур: сб. науч. статей X науч.-практ. конф., Владивосток, Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, 21–22 апреля 2022 г. Владивосток: Изд-во ТИГ ДВО РАН, 2022. С. 116–122.
- [15] Горохова С.В., Коляда Н.А., Малышева С.К., Остроградский П.Г. Дендрарию Горнотаежной станции ДВО РАН – 82 года // Вестник ДВО РАН, 2017. № 5 (195). С. 47–53.
- [16] Остроградский П.Г., Малышева С.К., Горохова С.В. Результаты инвентаризации растений дендрария Горнотаежной станции в 2007 г. // Биологические исследования на Горнотаежной станции. Вып. 11. Владивосток: Изд-во ОАО «Дальприбор», 2008. С. 18–52.
- [17] Малышева С.К., Горохова С.В. Дендрарий Горнотаежной станции, как объект сохранения биоразнообразия // Аграрный вестник Приморья, 2017. № 4 (8). С. 54–57.
- [18] Москалюк Т.А., Тарасова И.С. Структура травяного яруса в широколиственных лесах южного Приморья на завершающей стадии восстановления // Эко-потенциал, 2015. № 4 (12). С. 14–27.
- [19] Москалюк Т.А. Трансформация травяного яруса за 20 лет восстановительной сукцессии в широколиственных лесах с лиановой растительностью на юге Приморского края // Комаровские чтения, 2021. № 69. С. 26–78.
- [20] Москалюк Т.А. Исследования на экологическом профиле «Горнотаежный» (Южное Приморье) // Вестник ДВО РАН, 2022. № 4. С. 126–140.
- [21] Москалюк Т.А. Типы леса в Южном Приморье, в которых произрастают виды *Cypripedium* L., и их ценотическая структура // Бюллетень Ботанического сада-института ДВО РАН, 2008. № 2. С. 2–18.
- [22] Комаров В.Л. Типы растительности Южно-Уссурийского края // Тр. почвенно-ботанической экспедиции по исследованию колонизационных районов Азиатской России. Ч. 2. Ботанические исследования 1913 г. Петроград, 1917. 296 с.
- [23] Воробьев Д.П., Ворошилов В.Н., Горовой П.Г., Шретер А.И. Определитель растений Приморья и Приамурья. М.; Л.: Наука, 1966. 492 с.
- [24] Воробьев Д.П. Редкие виды во флоре Приморья и Приамурья // Вопросы ботаники на Дальнем Востоке (к 100-летию со дня рождения акад. В.Л. Комарова [1869–1969]). Владивосток, 1969. С. 119–123.
- [25] Куренцова Г.Э., Харкевич С.С. Задачи охраны и использования редких видов растений на советском Дальнем Востоке // Бюл. Главного ботанического сада СССР, 1975. Вып. 95. С. 77–84.
- [26] Шибнева И.В. *Liparis kumokiri* (Orchidaceae) на Дальнем Востоке России // Ботанический журнал, 2004. Т. 89. № 10. С. 1633–1636.
- [27] Шибнева И.В. Заметки о видах рода *Liparis* (Orchidaceae) из Приморского края // Растения в муссонном климате: Материалы конф., Ботанический сад-институт Дальневосточного отделения РАН, 10–13 октября 2006 г. Владивосток. Владивосток: Дальнаука, 2007. С. 264–268.
- [28] Ефимов П.Г. Род *Platanthera* (Orchidaceae) во флоре России. Виды подсекции *Platanthera* секции *Platanthera* // Ботанический журнал, 2006. Т. 91. № 11. С. 1713–1731.
- [29] Ефимов П.Г. Род *Liparis* (Orchidaceae) на территории России // Ботанический журнал, 2010. Т. 95. № 10. С. 1458–1480.
- [30] Кожевников А.Е., Кожевникова З.В. Таксономический состав и особенности природной флоры Приморского края // Комаровские чтения. Вып. LXII, 2014. С. 7–62.
- [31] Федина Л.А., Малышева С.К. Новые местонахождения *Ponerorchis cucullata* (Orchidaceae) на юге Дальнего Востока России // Вестник ИРГСХА, 2022. № 108. С. 92–99.
- [32] Федина Л.А., Малышева С.К., Репин Е.Н. Новые данные о распространении триллиума Комарова (*Trillium komarovii* (Trilliaceae) DC.) на северной границе ареала (Приморский край, Россия) // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 4. С. 23–29. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-23-29
- [33] Сосудистые растения советского Дальнего Востока / под ред. С.С. Харкевича. СПб. (Л.): Наука, 1985–1996. Т. 1–8.
- [34] IPNI. International Plant Names Index. URL: <http://www.ipni.org>, The Royal Botanic Gardens, Kew, Harvard University Herbaria & Libraries and Australian National Botanic Gardens (дата обращения 21.12.2022).
- [35] Красная книга Российской Федерации (растения и грибы) / под ред. Ю.П. Трутнева. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2008

Сведения об авторах

Федина Любовь Александровна [✉] — канд. биол. наук, ст. науч. сотр. лаборатории дендрологии, Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии Дальневосточного отделения Российской академии наук, triton.54@mail.ru

Малышева Светлана Константиновна — канд. биол. наук, ст. науч. сотр. лаборатории дендрологии, Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии Дальневосточного отделения Российской академии наук, malyshsveta@rambler.ru

Репин Евгений Николаевич — канд. с.-х. наук, доцент, ст. науч. сотр. лаборатории дендрологии, Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии Дальневосточного отделения Российской академии наук, revnik59@yandex.ru

Поступила в редакцию 08.02.2023.

Одобрено после рецензирования 18.04.2023.

Принята к публикации 12.12.2023.

RARE SPECIES OF ORCHIDS (ORCHIDACEAE) IN THE V.L. KOMAROV FEB RAS ARBORETUM GORNOTAЕZHNAJA STATION AND IN NEIGHBOURING TERRITORY (PRIMORSKY TERRITORY, FAR EAST OF RUSSIA)

L.A. Fedina✉, S.K. Malysheva, E.N. Repin

Federal Scientific Center for Biodiversity of Terrestrial Biota of East Asia of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, 159, av. of the 100th Anniversary of Vladivostok, 690022, Vladivostok, Russia

triton.54@mail.ru

Information on the locations of 11 species of plants from the orchid family (Orchidaceae Juss) of the natural flora of the surroundings of the Gornotaezhnaya station of the FEB RAS (GTS FEB RAS), the ecological profile «Gornotaezhny» and the arboretum of the GTS FEB RAS (south of the Primorsky Territory of the Russian Far East) is provided. Broad-leaved forests, mainly oak forests of secondary origin, are common in this territory. For the first time, orchid species included in the Red Books of the Russian Federation and Primorsky Territory are given for this area: *Liparis japonica* (Miq.) Maxim., *Liparis kumokiri* F. Maek., *Ponerorchis cucullata* (L.) X.H. Jin.Schuit. et W.T. Jin., as well as species in need of protection in forest associations: *Tulotis fuscescens* (L.) Czer., *Neottia papilligera* Schlechter, *Platanthera freynii* Kraenzlin. Phytocenotic descriptions of the habitats of *Cypripedium calceolus* L., *C. guttatum* Sw., *C. macranthos* Sw., *C. ventricosum* Sw., *Oreorchis patens* (Lindl.) Lindl., *Ponerorchis cucullata*, *Liparis japonica*, *Liparis kumokiri*, *Tulotis fuscescens*, *Platanthera freynii*, *Neottia papilligera* are given, both from previously known and from newly discovered localities. Studies have established that the most numerous for this area (more than 100 plants) are populations of *Platanthera freynii* Kraenzlin. The singly (2–3 specimens) occur *Oreorchis patens* (Lindl.) Lindl., *Ponerorchis cucullata* (L.) X.H. Jin Schuit. et W.T. Jin. and *Tulotis fuscescens* (L.). All species of plants of the orchid family need protection, therefore it is necessary to carry out fire-fighting measures in the surveyed area. In the arboretum of the Gornotaezhnaya station of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, control of recreational loads is required.

Keywords: floristic finds, orchids, rare species, arboretum of the Gornotaezhnaya station FEB RAS, ecological profile, Primorsky Territory

Suggested citation: Fedina L.A., Malysheva S.K., Repin E.N. *Redkie vidy orkhidey (Orchidaceae) dendrariya Gornotaezhnoj stancii imeni V.L. Komarova DVO RAN i soprodel'noy territorii (Primorskiy kray, Dal'niy Vostok Rossii)* [Rare species of orchids (Orchidaceae) in the V.L. Komarov FEB RAS Arboretum Gornotaezhnaya station and in neighbouring territory (Primorsky Territory, Far East of Russia)]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2024, vol. 28, no. 1, pp. 97–107. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-1-97-107

References

- [1] Fedina L.A. *Sostoyaniye orkhidnykh v Ussuriyskom zapovednike (Yuzhnoe Primor'ye)* [State of orchids in the Ussuri Nature Reserve (Southern Primorye)] *Vestnik IrGSKhA [Bulletin of IrGSHA]*, 2014, no. 65, pp. 58–64.
- [2] Fedina L.A. *Redkie rasteniya Ussuriyskogo zapovednika, nakhodyashchiesya na granitse areala (Primorskiy kray)* [Rare plants of the Ussuri Nature Reserve, located on the border of their range (Primorsky Territory)] *Botanicheskiy zhurnal [Botanical journal]*, 2015, v.100, no. 8, pp. 841–849.
- [3] Vakhrameeva M.G., Varlygina T.I., Tatarenko I.V. *Orkhidnye Rossii (biologiya, ekologiya i okhrana)* [Orchids of Russia (biology, ecology and conservation)]. Moscow: Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK [Partnership of scientific publications KMK], 2014, 437 p.
- [4] Vyshin I.B. *Sem. yatryshnikovye, ili orkhidnye (Orchidaceae)* [Sem. orchidaceae (Orchidaceae)] *Sosudistye rasteniya sovet'skogo Dal'nego Vostoka [Vascular plants of the Soviet Far East. V. 8]*, St. Petersburg (L.): Nauka, 1996, pp. 301–339.
- [5] Kharkevich S.S., Kachura N.N. *Redkie vidy rasteniy sovet'skogo Dal'nego Vostoka i ikh okhrana* [Rare plant species of the Soviet Far East and their protection] Moscow: Nauka, 1981, 234 p.
- [6] *Krasnaya kniga Primorskogo kraya: Rasteniya. Redkie i nakhodyashchiesya pod ugrozoy ischeznoveniya vidy rasteniy i gribov* [Red Book of Primorsky Krai: Plants. Rare and endangered species of plants and fungi]. Vladivostok: AVK «Orange», 2008, 688 p.
- [7] Kozhevnikov A. E., Kozhevnikova Z. V., Kwak M., Lee B. Y. *Illustrated flora of the Primorsky Territory (Russian Far East)*. Incheon: Nat. Inst. Biol. Res., 2019. 1124 p.
- [8] Fedina L.A., Markova T.O., Maslov M.V. *Novye mestonakhozhdeniya dekorativnoy orkhidei Spiranthes sinensis (Orchidaceae) v Primorskom krae* [New locations of the ornamental orchid *Spiranthes sinensis* (Orchidaceae) in Primorsky Krai]. *Sibirskiy vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki [Siberian Bulletin of Agricultural Science]*, 2022, v. 52, no. 5, pp. 124–129.
- [9] Korkishko R.I., Shibneva I.V. *Orkhidnye zapovednika «Kedrovaya Pad'»* [Orchids of the Kedrovaya Pad Nature Reserve]. *Rastitel'nyy i zhivotnyy mir zapovednika «Kedrovaya Pad'»* [Flora and fauna of the Kedrovaya Pad Nature Reserve], 2006, pp. 27–31.
- [10] Fedina L.A., Burundukova O.L. *Panax ginseng (Araliaceae) v otrogakh yuzhnogo Sikhote-Alinya: Ussuriyskiy zapovednik (Primorskiy kray)* [Panax ginseng (Araliaceae) in the spurs of the southern Sikhote-Alin: Ussuri Nature Reserve (Primorsky Territory)]. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Biologiya. Ekologiya* [News of Irkutsk State University. Biology series. Ecology], 2020, v. 32, pp. 35–49.

- [11] Pimenova E.A., Barkalov V.Yu., Koldaeva M.N., Nesterova S.V. *Redkie vidy sosudistyh rasteniy na territorii nacional'nogo parka «Zemiya leoparda» (Primorskiy kray, Rossiya)* [Rare species of vascular plants in the territory of the Land of the Leopard National Park (Primorsky Territory, Russia)]. Turczaninowia, 2016, v. 19, no 2, pp. 19–33.
- [12] Gladkova G.A., Sibirina L.A. *Orkhidnye v lesakh natsional'nogo parka «Udegeyskaya legenda»* [Orchids in the forests of the Udegeyskaya Legend National Park]. Vestnik DVO RAN [Bulletin of the FEB RAS], 2019, v. 1, no. 203, pp. 25–33.
- [13] Prokopenko S.V., Kudryavtseva E.P. *Redkie i okhranyaemye sosudistye rasteniya Livadiyskogo i Lozovskogo khrebtov (yuzhnyy Sikhote-Alin', Primorskiy kray)* [Rare and protected vascular plants of the Livadia and Lozovsky ridges (southern Sikhote-Alin, Primorsky Krai)]. Biota i sreda prirodnykh territoriy [Biota and environment of natural territories], 2021, no. 4, pp. 5–23.
- [14] Kiseleva A.G. *Otsenka primorskikh ekosistem po okhranyaemym rasteniyam morskikh poberezhnykh i ostrovov Primorskogo kraya* [Assessment of coastal ecosystems by protected plants of sea coasts and islands of Primorsky Krai]. Geosistemy severo-vostochnoy Azii. Geograficheskie faktory dinamiki i razvitiya ikh struktur: sbornik nauchnykh statey Kh nauchno-prakticheskoy konferentsii [Geosystems of Northeast Asia], Vladivostok, Tikhookeanskiy institut geografii DVO RAN, 21–22 aprelya 2022 g. Vladivostok: TIG DVO RAN, 2022, pp. 116–122.
- [15] Gorokhova S.V., Kolyada N.A., Malysheva S.K., Ostrogradskiy P.G. *Dendrariyu Gornotaezhnoy stantsii DVO RAN — 82 goda* [The Arboretum of the Mountain Taiga Station of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences is 82 years old]. Vestnik DVO RAN [Bulletin of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences], 2017, no. 5 (195), pp. 47–53.
- [16] Ostrogradskiy P.G., Malysheva S.K., Gorokhova S.V. *Rezul'taty inventarizatsii rasteniy dendrariya Gornotaezhnoy stantsii v 2007 g.* [Results of the plant inventory of the arboretum of the Gornotaezhnaya station in 2007]. Biologicheskie issledovaniya na Gornotaezhnoy stantsii [Biological research at the Gornotaezhnaya station]. Vol. 11. Vladivostok: OAO «Dal'pribor», 2008, pp. 18–52.
- [17] Malysheva S.K., Gorokhova S.V. *Dendrariy Gornotaezhnoy stantsii kak ob'ekt sokhraneniya bioraznoobraziya* [Arboretum of the Mountain Taiga station as an object of biodiversity conservation]. Agrarnyy vestnik Primor'ya [Agrarian Bulletin of Primorye], 2017, v. 4, no. 8, pp. 54–57.
- [18] Moskalyuk T.A., Tarasova I.S. *Struktura travyanogo yarusa v shirokolistvennykh lesakh yuzhnogo Primor'ya na zavershayushchey stadii vosstanovleniya* [The structure of the herbaceous layer in deciduous forests of southern Primorye at the final stage of restoration]. Eko-potentsial [Eco-potential], 2015, no 4 (12), pp. 14–27.
- [19] Moskalyuk T.A. *Transformatsiya travyanogo yarusa za 20 let vosstanovitel'noy suksessii v shirokolistvennykh lesakh s lianovoy rastitel'nost'yu na yuge Primorskogo kraya* [Transformation of the herbaceous layer over 20 years of restorative succession in deciduous forests with liana vegetation in the south of Primorsky Krai]. Komarovskie chteniya [Komarov readings], 2021, no. 69, pp. 26–78.
- [20] Moskalyuk T.A. *Issledovaniya na ekologicheskom profile «Gornotaezhnyy» (Yuzhnoe Primor'ye)* [Research on the ecological profile of «Gornotaezhnyy» (Southern Primorye)]. Vestnik DVO RAN [Bulletin of the FEB RAS], 2022, no 4, pp. 126–140.
- [21] Moskalyuk T.A. *Tipy lesa v Yuzhnom Primor'ye, v kotorykh proizrastayut vidy Cypripedium i ikh tsenoticheskaya struktura* [Types of forests in Southern Primorye, in which Cypripedium species grow and their cenotic structure]. Byull. Bot. sada-instituta DVO RAN [Bull. Bot. Garden-Institute of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences], 2008, no. 2, pp. 2–18.
- [22] Komarov V.L. *Tipy rastitel'nosti Yuzhno-Ussuriyskogo kraya* [Vegetation types of the South Ussuri region] Tr. pochvenno-botanicheskoy ekspeditsiy po issledovaniyu kolonizatsionnykh rayonov Aziatskoy Rossii. Ch. 2. Botanicheskie issledovaniya 1913 g. [Proceedings of soil-botanical expeditions to study the colonization areas of Asian Russia. Part 2. Botanical research 1913], ch. 2. Botanicheskie issledovaniya 1913 g.). Petrograd, 1917, 296 p.
- [23] Vorob'ev D.P., Voroshilov V.N., Gorovoy P.G., Shreter A.I. *Opredelitel' rasteniy Primor'ya i Priamur'ya* [Determinant of plants of Primorye and Amur region]. Moscow; Leningrad: Nauka, 1966, 492 p.
- [24] Vorob'ev D.P. *Redkie vidy vo flore Primor'ya i Priamur'ya* [Rare species in the flora of Primorye and the Amur region]. Voprosy botaniki na Dal'nem Vostoke (k 100-letiyu so dnya rozhdeniya akad. V.L. Komarova [1869–1969]) [Questions of botany in the Far East (to the 100th anniversary of the birth of Academician V.L. Komarov (1869–1969))]. Vladivostok, 1969, pp. 119–123.
- [25] Kurentsova G.E., Kharkevich S.S. *Zadachi okhrany i ispol'zovaniya redkikh vidov rasteniy na sovetskom Dal'nem Vostoke* [Tasks of protection and use of rare plant species in the Soviet Far East]. Byull. Gl. botan sada SSSR [Bulletin main botanical of the garden of the USSR], 1975, v. 95, pp. 77–84.
- [26] Shibneva I.V. *Liparis kumokiri (Orchidaceae) na Dal'nem Vostoke Rossii* [Liparis kumokiri (Orchidaceae) in the Far East of Russia]. Botanicheskiy zhurnal [Botanical Journal], 2004, v. 89, no. 10, pp. 1633–1636.
- [27] Shibneva I.V. *Zametki o vidakh roda Liparis (Orchidaceae) iz Primorskogo kraya* [Notes on species of the genus Liparis (Orchidaceae) from Primorsky Krai]. Rasteniya v mussonnom klimate: mater. konf. [Plants in a monsoon climate: materials of the conference], Vladivostok, Botanicheskiy sada-institut Dal'nevostochnogo otdeleniya RAN, 10–13 oktyabrya 2006 g. Vladivostok: Dal'nauka, 2007, pp. 264–268.
- [28] Efimov P.G. *Rod Platanthera (Orchidaceae) vo flore Rossii. Vidy podseksii Platanthera seksii Platanthera* [Genus Platanthera (Orchidaceae) in the flora of Russia. Types of the Platanthera subsection of the Platanthera section]. Botanicheskiy zhurnal [Botanical Journal], 2006, v. 91, no. 11, pp. 1713–1731.
- [29] Efimov P.G. *Rod Liparis (Orchidaceae) na territorii Rossii* [Genus Liparis (Orchidaceae) on the territory of Russia]. Botanicheskiy zhurnal [Botanical Journal], 2010, v. 95, no. 10, pp. 1458–1480.
- [30] Kozhevnikov A.E., Kozhevnikova Z.V. *Taksonomicheskii sostav i osobennosti prirodnoy flory Primorskogo kraya* [Taxonomic composition and features of the natural flora of Primorsky Krai]. Komarovskie chteniya [Komarovsky readings], v. LXII, 2014, pp. 7–62.
- [31] Fedina L.A., Malysheva S.K. *Novye mestonakhozhdeniya Ponerorchis cucullata (Orchidaceae) na yuge Dal'nego Vostoka Rossii* [New localities of Ponerorchis cucullata (Orchidaceae) in the south of the Russian Far East]. Vestnik IrGSKhA [Bulletin of IrGSHA], 2022, no 108, pp. 92–99.

- [32] Fedina L.A., Malysheva S.K., Repin E.N. *Novye dannye o rasprostraneni trilliuma Komarova (Trillium komarovii (Trilliaceae DC.) na severnoy granitse areala (Primorskiy kray, Rossiya)* [New data on *Trillium komarovii* (Trilliaceae DC.) distribution on habitat northern border (Primorsky Krai, Russia)]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2023, vol. 27, no. 4, pp. 23–29. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-23-29
- [33] *Sosudistye rasteniya sovetskogo Dal'nego Vostoka* [Vascular plants of the Soviet Far East]. Ed. S.S. Harkevich. St. Petersburg (Leningrad): Nauka, 1985–1996, tt. 1–8.
- [34] IPNI. International Plant Names Index. Available at: <http://www.ipni.org>, The Royal Botanic Gardens, Kew, Harvard University Herbaria & Libraries and Australian National Botanic Gardens (accessed 21.12.2022).
- [35] *Krasnaya kniga Rossiyskoy Federatsii (rasteniya i griby)* [Red Book of the Russian Federation (plants and fungi)]. Ed. Yu.P. Trutnev. Moscow: T-vo nauchnykh izdaniy KMK, 2008, 855 p.

The work was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (topic No. 121031000120-9).

Authors' information

Fedina Lyubov Aleksandrovna ✉ — Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher at the Laboratory of Dendrology, Federal Scientific Center for Biodiversity of Terrestrial Biota of East Asia, FEB RAS, triton.54@mail.ru

Malysheva Svetlana Konstantinovna — Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher at the Laboratory of Dendrology, Federal Scientific Center for Biodiversity of Terrestrial Biota of East Asia, FEB RAS, malyshevsveta@rambler.ru

Repin Evgeny Nikolaevich — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor, Senior Researcher at the Laboratory of Dendrology, Federal Scientific Center for Biodiversity of Terrestrial Biota of East Asia FEB RAS, revnik59@yandex.ru

Received 08.02.2023.

Approved after review 18.04.2023.

Accepted for publication 12.12.2023.

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

ПЛОТНОСТЬ ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ БРУТИЙСКОЙ И СОСНЫ СТАНКЕВИЧА В ИСКУССТВЕННЫХ НАСАЖДЕНИЯХ

С. Алкинж¹, Д.А. Данилов^{1,2}, Д.А. Зайцев²✉

¹ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова», Россия, 194021, г. Санкт-Петербург, Институтский пер., д. 5

²Ленинградский НИИСХ «Белогорка» — филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха», Россия, 188338, Ленинградская обл., д. Белогорка, Институтская ул., д. 1

disoks@gmail.com

Рассмотрено изменение плотности древесины сосны брутийской (*Pinus brutia* Ten.) и параметров ее макро-структуры в зависимости от высоты произрастания над уровнем моря на побережье Средиземного моря в пределах Сирии, и сосны Станкевича (*Pinus brutia* var. *pithyusa*) на побережье Черного моря в пределах Южного берега Крыма. Исследование проводилось в искусственно созданных насаждениях возрастом 45...55 лет. Обследовано четыре участка в пределах провинции Латакия в Сирийской Арабской Республике (высота соответственно 30, 190, 330, 655 м н. у. м.) и три участка в пределах Южного берега Крыма РФ (соответственно высота 25, 150, 200 м н. у. м.). Определены таксационные характеристики. По кернам древесины, взятым на высоте 1,3 м от поверхности земли, установлена базисная плотность древесины и ее макроструктурные параметры — ширина зон поздней и ранней ксилемы. Проведен дисперсионный анализ полученных данных. Показана степень достоверности влияния фактора высоты над уровнем моря на плотность древесины. Обнаружена различная направленность влияния высоты произрастания над уровнем моря на макроструктурные показатели древесины по исследуемым участкам. Выявлено, что объекты исследования на высоте более 190 м н. у. м. в Латакии Сирийской Арабской Республики и более 150 м н. у. м. на Южном берегу Крыма РФ существенно не различаются по макроструктурным показателям. Показана значимость различий плотности древесины в рассматриваемых регионах в зависимости от высоты произрастания над уровнем моря.

Ключевые слова: сосна брутийская, сосна Станкевича (пицундская), плотность древесины, ширина годичного слоя, ранняя и поздняя ксилема

Ссылка для цитирования: Алкинж С., Данилов Д.А., Зайцев Д.А. Плотность древесины сосны брутийской и сосны Станкевича в искусственных насаждениях // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2024. Т. 28. № 1. С. 108–120. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-1-108-120

Естественная часть ареала сосны брутийской охватывает Малую Азию и прилегающие к ней острова Кипр, Крит, Сирию и Ливан. Отдельные небольшие массивы вида имеются в Ираке и Иране. На Кавказе произрастают ее подвиды — сосны пицундская и эльдарская (*P. eldarica*), а в Крыму — сосна Станкевича, или судакская (*P. stankeviczii*) [1–3]. Сосна брутийская имеет необычно высокую гаплотипическую изменчивость и генетическую дивергенцию, что и обуславливает его широкий географический и высотный диапазон. Вид произрастает в основном на морском побережье в районах ярко выраженного средиземноморского климата, обладает большими экологической приспособляемостью и продуктивностью и может произрастать до высоты 1700 м н. у. м. [4]. Сосна брутийская (*P. brutia*) и ее формы встречаются главным образом в термо- и мезосредиземноморском высотных поясах, где образуют обширные древостои с густым кустарниковым ярусом, представленным склерофильными видами (маккиями, маквисами), или без него [5, 6].

Насаждения *P. brutia* в Крыму и на Кавказе, находящиеся на крайнем северо-восточном пределе естественного произрастания, относят к наиболее древним реликтовым формациям сосновых лесов [2].

Сосна Станкевича (*Pinus brutia* var. *pithyusa* (*Steven*) *Silba*) — эндемичная раса термофильно-средиземноморского вида *Pinus brutia*, находящегося на северной границе ареала. Ранее ее считали отдельным видом, сегодня определяют как подвид сосны пицундской (*Pinus pithyusa*). В дикорастущем состоянии этот вид встречается на побережье Черного моря только в пределах Южного берега Крыма в двух локалитетах: на мысе Айя — урочища Аязьма, Батилиман, Ласпи, а также в окрестностях г. Судака — урочище Новый Свет, гора Сокол и занимает площадь в 460 га [7].

Сосна Станкевича весьма декоративна, широко используется в парковом строительстве и для озеленения крутых южных склонов. В отличие от сосны крымской сосна Станкевича (*Pinus brutia* var. *pithyusa* (*Steven*) *Silba*) легко пробивает скалистые горизонтально расположенные флиши и находит в этих осадочных горных породах все

необходимое для нормального роста и развития. Вид показал себя в условиях лесных культур более экологически устойчивым и перспективным, чем другие виды сосен, используемые для искусственного лесовосстановления. Благодаря относительно быстрому росту и широкому географическому распространению сосну брутийскую и сосну Станкевича выращивают в Турции, Сирии и других странах Средиземноморья и Черноморского побережья [8–13].

Древесина сосны брутийской используется в лесной промышленности, в частности для производства лесоматериалов и мебели, а также в целлюлозно-бумажном производстве. Кроме того, ее используют на топливную древесину, в производстве материалов для домостроения, упаковки и т. д. Возраст ротации при выращивании древесины сосны брутийской для целлюлозно-бумажного производства может составлять до 25 лет, а для производства древесины на пиловочник — 80 лет. В наиболее продуктивных местоприрастаниях с лучшим генетическим фондом насаждения оборот рубки может составить 60 лет [14].

Плотность древесины сосны брутийской имеет среднее значение 570 кг/м^3 , о чем сообщалось в литературе с описанием этого вида [15, 16]. По данным проведенных нами исследований этот показатель качества древесины варьирует в зависимости от региона. Для условий Греции, например, плотность древесины спелых насаждений составила от 490 до 554 кг/м^3 [16].

Древесина сосны брутийской плотностью 565 кг/м^3 зафиксирована при выращивании этой породы в Восточных Родопах (Болгария) [17].

Диапазон плотности семилетних деревьев этой породы в условиях Восточного Средиземноморья составил $351 \dots 371 \text{ кг/м}^3$, а в 25-летних — $468 \dots 500 \text{ кг/м}^3$ [18, 19].

Исследования образцов древесины сосны брутийской, произрастающей в Турции, методами рентгеноскопии показали, что средняя плотность древесины составила 488 кг/м^3 . Минимальная плотность поздней древесины, средняя плотность ранней древесины и плотность поздней древесины составили соответственно — 450, 380 и 622 кг/м^3 [20].

Плотность древесины сосны пицундской, произрастающей в пределах Черноморского побережья, при 15%-й влажности воздуха составляет 600 кг/м^3 , при 12 % — 583 кг/м^3 . Для сосны эльдарской (*P. eldarica*) плотность древесины при 15%-й влажности воздуха составляет 620 кг/м^3 , при 12 % — 600 кг/м^3 [15].

Исследователи отмечают, что для улучшения физико-механических свойств древесины сосны брутийской можно повысить ее плотность путем увеличения либо доли поздней древесины,

либо плотности ранней древесины, либо и того, и другого [14, 17]. Проведенный анализ научно-исследовательских работ [21–28] показал широкую информативность материалов по возобновлению, росту и продуктивности насаждений сосны брутийской и ее природных вариаций и форм в различных регионах Европы и Азии.

Кроме того, проведены обширные работы по исследованию генетического сходства форм и видов данной породы как за рубежом, так и в России [29–33].

Тем не менее работ, посвященных плотности древесины сосны брутийской и ее подвидов и влиянию условий произрастания на этот показатель ее качества, в настоящее время по рассматриваемым регионам недостаточно.

Цель работы

Цель работы — сравнительный анализ плотности и макростроения древесины сосны брутийской в искусственных насаждениях в Восточно-Средиземноморском экорегионе в пределах Сирийской Арабской Республики (САР) и в Черноморском экорегионе в пределах Южного берега Крыма России.

Материалы и методы

Климатические и почвенные условия САР. Сирия общей площадью $185\,000 \text{ км}^2$ расположена в восточной части Средиземноморья и является одним из первых районов мира, где было положено начало земледелию и выращиванию древесных культур. В прибрежной зоне САР климат средиземноморский, характеризуется умеренно влажной зимой, теплым или жарким сухим летом. Весна и осень — относительно короткие сезоны. Внутренние районы САР засушливые и полусушливые, с относительно низким годовым количеством осадков — около 200 мм, и причем всегда менее 500 мм. Внутренние районы подвержены высокой изменчивости дневной температуры воздуха в течение светлого времени суток и низкой — ночью. В прибрежной зоне сезон дождей начинается в сентябре и продолжается до конца мая. Его продолжительность сокращается по мере продвижения внутрь САР, на юг и восток. С запада на восток и с северо-запада на юго-восток обнаруживается горизонтальная зональность в смене почв — от коричневых до красновато-пустынных. В результате образуются дугообразные формы зон и подзон, характерные для территории САР. Почвы классифицируются в соответствии с американской классификацией таксономии почв на основе которой по методике Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (FAO) была создана карта сирийских почв [34].

Характеристика насаждений сосны брутйской
Characteristics of Brutyskaya pine plantations study objects

Номер участка	Почвы	Годовое количество осадков, мм	Возраст, лет	Биоклиматический пояс	Высота н. у. м., м	Район провинции Латакия
1	Бедные песчаные мелкие плохо развитые	750	62	Влажное и жаркое Средиземноморье	30	Фдио-Латакия
2	Белые известковые неглубокие бедные малоразвитые на марнийских известняках	890	43	То же	190	Дерхана-Латакия
3	То же	1063	43	«←→»	330	Эль Бодхи-Латакия
4	Глинистые красновато-коричневые на известняковых породах мощностью 10...30 см	1227	42	Влажное и умеренное Средиземноморье	655	Метн-Латакия

Общая площадь САР, занятая лесами, превышает 0,5 млн га, т. е. 2,71 % общей площади страны. Почти 53,56 % этих лесов созданы человеком. В лесах насчитывается до 60 древесных пород. Из хвойных основными лесообразующими породами являются сосны алепская (*Pinus halepensis*) и брутйская (*Pinus brutia*).

Насаждения *Pinus brutia* занимают около 145 тыс. га, сосредоточены в прибрежном регионе страны. Они встречаются во влажных, субгумидных и полусухих биоклиматических зонах. Леса довольно разнообразны по возрасту, структуре и условиям произрастания. В древостоях *Pinus brutia* сопутствующими породами и кустарниками чаще всего являются дуб турецкий (*Quercus pseudocerris*), дуб алеппский (*Q. infectoria*), дуб палестинский (*Q. calliprinos*), фисташка дикая (*Pistacia palaestina*), Стиракс лекарственный (*Styrax officinalis*).

Объект исследования

Почвенно-климатические условия Латакии. Провинция Латакия занимает около половины Средиземноморского побережья САР. Западная ее часть состоит в основном из прибрежных равнин, а внутренняя — восточная — гористая. Через восточную часть Латакии с севера на юг на расстоянии 20...30 км от берега моря протянулся хребет Ансария. Западные районы находятся под влиянием влажных ветров с моря и являются более плодородными. Среднесуточная температура воздуха составляет +19,4 °С, среднее количество осадков 750 мм в год. Высокоплодотные сосновые леса САР (25 %) расположены преимущественно в Латакии [34, 35], занимают 85 тыс. га всей территории провинции, т. е. 37 % и приурочены в основном к горным районам с крутыми склонами [35]. Лесной покров в целом можно подразделить на несколько типов в зависимости от географического положения: высоты над уровнем моря, удаленности от прибрежной зоны,

степени влияния воздушных масс и осадков. В лесных насаждениях САР, произрастающих в горных массивах, выделены два типа: насаждения западной части предгорных и горных районов и насаждения восточных склонов горных массивов. [34, 36, 37].

В западной части склонов горных массивов было выбрано четыре участка с искусственными насаждениями сосны брутйской, распределенные по местам морского побережья и расположенные на различной высоте над уровнем моря. В 2022 г. на объектах исследования проведен отбор 40 образцов древесины (табл. 1).

Климатические и почвенные условия Республики Крым. Особенности климата, почв, растительного покрова позволяют, несмотря на некоторые различия, сравнивать, а часто и приравнивать, Средиземноморье и Крымский п-ов. Положение Крыма в северной части Черного моря обусловило формирование значительного количества переходных ландшафтов. С большим разнообразием природных условий на относительно небольшой площади территория склона Главной гряды выделяется как Южный берег Крыма, который отличается субсредиземноморским типом климата Крымских гор. Защищенный с севера горами, Южный берег имеет более теплый климат по сравнению с другими районами Крыма. Около 150 сут. в году средняя суточная температура воздуха составляет выше +15 °С. Зима — мягкая, средняя температура января — около +4 °С, что обеспечивает непрерывную вегетацию. Редкие осадки в виде снега быстро тают, зимой чаще идет дождь. Лето и осень — солнечные, теплые, средняя температура июля и августа — около +24 °С. Климат Южного берега Крыма определяется как субсредиземноморский с максимальным количеством атмосферных осадков в зимний период и годовым количеством осадков около 650 мм [38–40].

Характеристика насаждений сосны Станкевича (пицундской)

Characteristics of the studied *Pinus brutia* var. *pithyusa* stands

Номер участка	Почвы	Годовое количество осадков, мм	Возраст, лет	Биоклиматический пояс	Высота н. у. м., м	Локация
1	Коричневые почвы на известняковых породах	700	55...60	Крымская субсредиземноморская физико-географическая область Южнобережного субсредиземноморья	200	пгт Нижняя Ореанда, групповые посадки
2		635	50		150	пгт Нижняя Ореанда, фрагментарные склоновые рядовые культуры
3		609	60...70		25	пгт Гаспра, групповые посадки

Лесистость Крымского п-ова — 10,6 %, леса расположены не равномерно, в основном на южных горных склонах. В 1960–1970-е годы проводились масштабные работы по террасированию и облесению склонов Крымских гор, поэтому ныне широко распространены искусственные насаждения сосны. Максимальная лесистость в Крымских горах — около 50 %. Древостои сосны Станкевича в Горном Крыму произрастают в типологическом макрокомплексе сообществ сухого сугрудка С₁, которые занимают 44 % площади и представляют 57 % запасов насаждений по данному виду в Горном Крыму [41, 42]. Древостои естественного и искусственного происхождения произрастают в основном в приморской полосе при наибольшем удалении от моря в естественных условиях около 6 км, на крутых прибрежных склонах, часто на известняковых скалах, лишенных почвы, что связано, скорее, с ее вытеснением более конкурентоспособными видами, и особенно, с антропогенным изменением приморской полосы вследствие застройки и прокладки дорог. Сосна Станкевича светолюбивая, малотребовательная к почвенно-грунтовым условиям, солеустойчивая и засухоустойчивая, адаптируется к загрязненному воздуху, не боится морозов до –25 °С.

Отбор образцов древесины (кernов) и биометрические измерения деревьев проводились в искусственных насаждениях сосны Станкевича на Южном берегу Крыма вдоль автомобильной дороги г. Ялта — г. Севастополь на участке пгт Нижняя Ореанда — пгт Гаспра. Насаждения представляют собой фрагментарные рядовые склоновые и групповые посадки на крутых каменистых склонах южной экспозиции на высоте до 200 м н. у. м. Условия произрастания относятся к сухим лесам на коричневых горных почвах. Возраст насаждений определен на

основании дендрохронологического анализа отобранных kernов древесины (табл. 2) и составляет 45...55 лет. Всего отобрано 42 образца древесины в 2022 г.

Материалы и методы

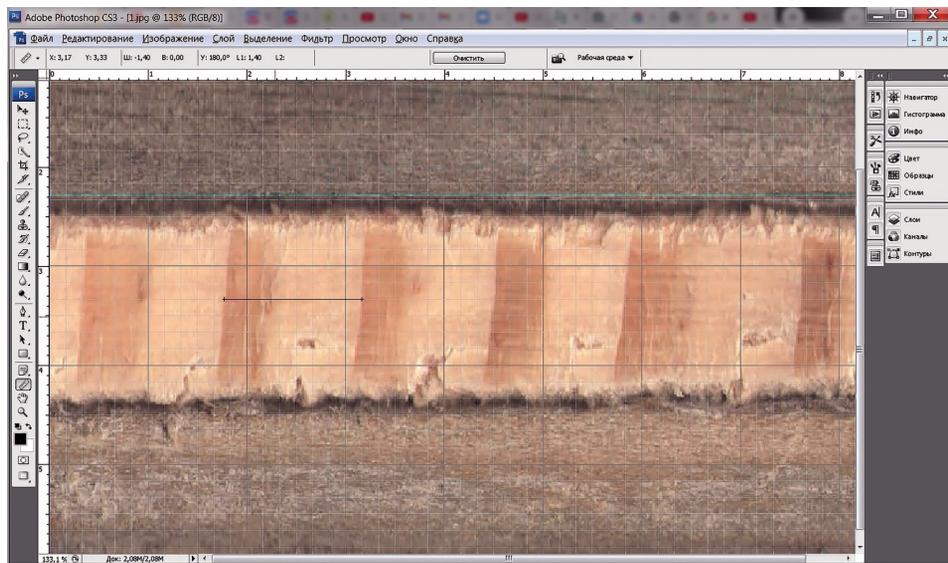
На участках были отобраны деревья-доминанты, характеризующиеся прямыми стволами и отсутствием пораженной кроны из наиболее представленных деревьев ряда распределения по классам диаметров стволов. Измерение диаметров стволов деревьев на высоте 1,3 м от поверхности земли проводилось мерной таксационной вилкой фирмы Haglof, высоту деревьев измеряли высотомером фирмы Suunto. Kernы древесины отбирали с помощью бурава Пресслера на высоте 1,3 м от поверхности земли в двух экземплярах для измерения плотности древесины и исследования макроструктуры ксилемы — зон ранней и поздней древесины в годичных приростах сосны брутийской и сосны Станкевича.

Плотность древесины определялась в соответствии с рекомендациями, предложенными О.И. Полубояриновым по методу максимальной влажности. Базисная плотность древесины (ρ_6 , кг/м³) выражается отношением массы абсолютно сухого образца к его объему при влажности, равной или превышающей предел насыщения клеточных стенок

$$\rho_6 = \frac{m_0}{V_{\max}}, \quad (1)$$

где m_0 — масса абсолютно сухого образца, кг;
 V_{\max} — объем образца при максимальной влажности м³.

С учетом массы образца в абсолютно сухом и максимально влажном состояниях, и плотности древесинного вещества (массы единицы объема



Процесс измерения толщины годичных колец в окне программы «Adobe Photoshop CS3»
The annual rings thickness measuring process in «Adobe Photoshop CS3» program

материала, образующего клеточные стенки) формула определения базисной плотности древесины принимает вид

$$\rho_6 = \frac{1}{\frac{m_w - m_0}{m_0} + \frac{1}{d}}, \quad (2)$$

где m_w — масса образца в максимально влажном состоянии, кг;

d — плотность древесинного вещества, кг/м³.

Таким образом, при плотности древесинного вещества $d = 1,53$ г/см³, получаем

$$\rho_6 = \frac{1}{\frac{m_w}{m_0} - 0,346}. \quad (3)$$

Для изучения таких показателей макроструктуры древесины, как ширина годичных приростов, зоны ранней и поздней древесины и общий радиальный прирост в целом использовался метод обработки образцов на сканере высокого разрешения, который, по данным современных исследований [43], дает результаты с интервалом точности измерения $\pm 0,01$ мм.

Образцы для исследования анатомического строения древесины были закреплены в деревянные держатели и отшлифованы до гладкой поверхности. Далее осуществлялась калибровка длины керн с помощью миллиметровой бумаги. Оцифровка образцов древесины проводилась на сканере высокого разрешения — 1200 dpi. Полученное изображение обрабатывалось с помощью программы «Adobe Photoshop CS3», увеличивалось и с помощью такого программного инстру-

мента, как «линейка», устанавливались единицы измерения в миллиметрах. Количество пикселей, соответствующих каждому миллиметру изображения, калибровалось через значок установки измерения масштаба в окне «Анализ» на панели задач, в диалоговом окне, через которое можно определить количество пикселей, соответствующих 1 мм, с помощью «линейки» рядом с изображением образца древесины (рисунок).

Размер годичных колец был измерен от коры к центру образца древесины. Для достоверного различия границы, разделяющей годичные кольца, проводился контроль масштабирования изображения с учетом того, что программа автоматически регулирует коэффициент масштабирования в соответствии с используемой шкалой. Во избежание искажений в измерениях, поскольку годичные кольца не всегда имеют правильную форму, на каждое годичное кольцо было сделано три отсчета — два с краев и один посередине с измерением зон ранней и поздней древесины. Далее для измерения вычислялось среднее арифметическое значение. Измерение каждого годичного кольца фиксировалось относительно года его образования в программе «Microsoft Excel». На основе полученного материала формировались первичные временные ряды годичных колец.

Статистическая обработка полученных качественных и количественных данных проводилась в программных пакетах «Statistica version 11.0», «Statgraphics Centurion XVI», «Microsoft Excel» с помощью корреляционного анализа при использовании коэффициента ранговой корреляции Спирмена (R_{Sp}). Для исследования статистической значимости различий при 95%-м уровне по показателям средних по группам значений при-

Т а б л и ц а 3

Таксационные характеристики насаждений сосны брутийской

Taxation characteristics of Brutyskaya pine plantations

Номер участка	Высота над уровнем моря, м	Количество деревьев на 1 га, шт.	Средняя высота дерева H_{cp} , м	Средний диаметр ствола D_{cp} , см	Запас древесины, м ³ /га
1	30	1088	11,7	22	270
2	190	900	11,8	22	232
3	330	550	13,1	30	251
4	655	525	13,7	34	315

Т а б л и ц а 4

Таксационные характеристики насаждений сосны Станкевича (пицундской)

Taxation characteristics of *Pinus brutia* var. *pithyusa* plantations

Номер участка	Высота над уровнем моря, м	Количество деревьев на 1 га, шт.	Средняя высота дерева H_{cp} , м	Средний диаметр ствола D_{cp} , см	Запас древесины, м ³ /га
1	200	500	25,1	21,9	212
2	150	920	21,5	27	182
3	25	400	17,7	23,5	173

меняли однофакторный дисперсионный анализ (F -критерий Фишера) и t -критерий Стьюдента (при анализе данных из двух групп), в некоторых случаях с достоверностью 90 % (указывали отдельно в разделе «Результаты») [44–47].

Результаты и обсуждение

Анализ таксационных характеристик сосны брутийской в искусственных насаждениях в условиях провинции Латакия показал уменьшение биометрических показателей деревьев и запаса древесины с уменьшением высоты локаций насаждений над уровнем моря (табл. 3).

Фактически можно наблюдать такую же тенденцию изменения таксационных характеристик для насаждений сосны Станкевича (пицундской) в условиях Южного берега Крыма (табл. 4).

Ограничивающим продуктивностью фактором для Латакии и Южного берега Крыма выступает количество осадков: уменьшение осадков снижает запас древесины в насаждениях.

Исследование древесины сосны брутийской выявило тенденцию уменьшения ее плотности в зависимости от высоты над уровнем моря (табл. 5).

Очевидно, различия почвенных условий произрастания на горном макросклоне со стороны Средиземного моря сосны брутийской влияют на формирование древесины повышенной плотности. С изменением высоты над уровнем моря условия произрастания изменяются от богатых глинистых почв к бедным песчаным на высоте 30 м н. у. м. Со снижением высоты локаций места произрастания насаждений сосны брутийской

уменьшается средний годичный прирост древесины и снижается доля ранней древесины в ширине годичного кольца. Доля поздней древесины выше в годичном приросте в средней части макросклона горного массива на высоте 190...330 м н. у. м.

Для Южного берега Крыма установлена обратная тенденция — плотность древесины сосны Станкевича увеличивается в насаждениях при снижении высоты над уровнем моря (табл. 6). Наблюдается рост плотности древесины с увеличением диаметра ствола. Изменения в макроструктуре ксилемы наблюдаются только в зоне ранней древесины — происходит снижение ее ширины с изменением места произрастания в зависимости от высоты над уровнем моря. Доля поздней древесины фактически стабильна.

Однофакторный дисперсионный анализ по влиянию высоты над уровнем моря на показатели плотности и макростроения древесины показал, что на Южном берегу Крыма наблюдается значимое влияние (на уровне 95 %) высоты на показатели плотности древесины ($F_{расч} = 18,8$ при $F_{табл} = 3,55$), ширину зоны ранней ксилемы ($F_{расч} = 3,65$ при $F_{табл} = 3,55$) и несколько менее значимое — на ширину годичного прироста (на уровне достоверности 90 %, $F_{расч} = 2,68$ при $F_{табл} = 2,62$). На ширину зоны поздней древесины достоверного влияния фактора высоты над уровнем моря не выявлено.

В провинции Латакия однофакторный дисперсионный анализ показал значимое влияние высоты над уровнем моря на уровне достоверности 90 % на ширину зоны ранней ксилемы ($F_{расч} = 3,18$ при $F_{табл} = 2,52$) и на общую ширину

Показатели макростроения и базисной плотности древесины сосны брутийской на разной высоте над уровнем моря

Indices of macrostructure and basic wood density of Brutyskaya pine at different altitudes above sea level

Высота над уровнем моря, м	Диаметр ствола, см	Базисная плотность древесины, кг/м ³	Средняя ширина годовичного прироста, мм	Средняя ширина доли ранней древесины, мм	Средняя ширина доли поздней древесины, мм
30	24	525,2	2,25	1,52	0,73
	26	425	2,87	2,23	0,63
	28	520	3,61	2,09	1,53
	30	460,7	3,72	2,61	1,11
190	28	473,7	3,5	2,45	1,05
	30	473,5	6,37	4,61	1,76
	34	517,5	4,67	3,44	1,23
	36	536,9	3,58	2,66	0,92
	36	544,5	4,1	2,69	1,41
	36	568,8	5,95	3,86	2,1
330	30	454	4,52	3,38	1,14
	34	409,7	5,15	3,82	1,33
	36	531,5	4,17	3,02	1,15
	36	522,5	5,02	3,76	1,26
655	34	483,6	6,22	4,97	1,25
	36	569	3,61	2,53	1,08
	36	497,3	4,21	3,38	0,83
	38	596,2	4,11	3,09	1,02

годового слоя ($F_{расч} = 2,60$ при $F_{табл} = 2,52$). На плотность древесины и ширину зоны поздней древесины достоверного влияния фактора высоты над уровнем моря не выявлено.

Для изучения различий в данных между конкретными значениями высоты был применен t -критерий Стьюдента как метод проверки однородности показателей среди двух групп данных. Достоверных различий плотности древесины сосны брутийской на разной высоте над уровнем моря не выявлено, однако установлено значимое различие плотности древесины сосны Станкевича (пицундской) на разной высоте над уровнем моря (табл. 7).

Рассмотрев влияние высоты над уровнем моря на макроструктурные показатели, отметим, что в провинции Латакия влияние высоты над уровнем моря на долю поздней древесины в годовичном приросте в насаждениях не носит достоверный характер, а для доли ранней древесины и ширины годовичного прироста выявлено статистически значимое различие в насаждениях на высоте 30 м н. у. м. с расположенными выше древостоями на уровне значимости 95 %.

Для древесины сосны Станкевича (пицундской) выявлена аналогичная тенденция. Значимо по ранней древесине отличаются показатели наи-

более нижепроизрастающего насаждения — на уровне достоверности 95 %. Также отмечаются значимые различия годовичного прироста древесины с высоты 25 м н. у. м. по сравнению вышепроизрастающими насаждениями — на высоте 150 и 200 м н. у. м. и с меньшим уровнем значимости — 90 % ($t_{расч} = 2,138$ при $t_{табл} = 1,79$ и $t_{расч} = 2,16$ при $t_{табл} = 1,78$ соответственно).

Анализ влияния макроструктурных элементов ксилемы на плотность древесины сосны брутийской и ее подвида сосны Станкевича в искусственных насаждениях выявил непрямолинейный характер связи между этими показателями анатомического строения древесины в рассматриваемых регионах.

Ранговый анализ по критерию Спирмена (R_{Sp}) подтвердил эту закономерность. Выявлено только значимое влияние ранней ксилемы в годовичном приросте на плотность древесины для насаждений сосны Станкевича $R_{Sp} = 0,56$ (влияние ширины зоны поздней древесины и годовичного прироста не значимо, $R_{Sp} = 0,43$ и $0,49$ соответственно). Для насаждений сосны брутийской достоверных связей не выявлено. По-видимому, на плотность ее древесины совместно влияют макроструктурные элементы строения ксилемы данных пород.

Т а б л и ц а 6

**Показатели макростроения и базисной плотности древесины
сосны Станкевича (пицундской) на разной высоте над уровнем моря**

Indicators of macrostructure and basic density of *Pinus brutia* var. *pithyusa* wood at different altitudes above sea level

Высота над уровнем моря, м	Диаметр ствола, см	Базисная плотность древесины, кг/м ³	Средняя ширина годовичного прироста, мм	Средняя ширина доли ранней древесины, мм	Средняя ширина доли поздней древесины, мм
200	12	451,16	1,37	1,08	0,29
	16	432,37	2,18	1,75	0,43
	18	452,10	2,58	2,06	0,52
	22	524,57	2,63	2,13	0,50
	24	430,37	3,09	2,39	0,70
	26	495,63	3,03	2,41	0,62
	28	468,85	3,89	3,26	0,63
150	32	504,32	3,77	2,90	0,87
	16	430,91	1,46	1,22	0,24
	18	353,72	1,56	1,26	0,30
	24	379,68	2,95	2,39	0,55
	28	404,37	3,92	3,31	0,61
	30	420,07	3,74	3,15	0,59
	34	425,48	3,66	2,92	0,74
25	38	430,49	3,83	3,21	0,61
	16	490,04	1,57	1,13	0,44
	22	512,55	1,82	1,31	0,50
	24	525,76	2,55	2,00	0,55
	26	487,55	2,72	1,99	0,73
	28	498,50	1,92	1,48	0,44

Т а б л и ц а 7

**Анализ по *t*-критерию Стьюдента достоверности различий показателей
плотности древесины по высоте над уровнем моря сосны Станкевича (пицундской)**

Analysis by Student's *t*-test of reliability of differences in wood density indicators by altitude of *Pinus brutia* var. *pithyusa*

Сравниваемые группы высот над уровнем моря, м	Среднее по группе 1	Среднее по группе 2	<i>t</i>	<i>v</i>	<i>p</i>	σ группы 1	σ группы 2	<i>F</i> -отн. дисперс.	<i>p</i> -знач. дисперс.
200 и 150	469,92	406,389	3,78	13	0,002	34,79	29,51	1,39	0,70
200 и 25	469,92	501,398	-2,06	12	0,061	34,79	14,84	5,49	0,07
25 и 150	501,39	406,389	7,12	11	0,001	14,84	29,51	3,95	0,15

Примечание. *t* — *t*-критерий Стьюдента; *v* — степени свободы; *p* — расчетный уровень значимости при тестировании с использованием *t*-критерия; σ — стандартное отклонение; *F*-отн. дисперс. — расчетное значение *F*-критерия; *p*-знач. дисперс. — расчетный уровень значимости при дисперсионном анализе.

Выводы

Лимитирующими факторами для формирования запаса и плотности древесины выступает количество осадков для условий обоих регионов, что связано с расположением участков произрастания над уровнем моря.

Показатели плотности древесины сосны брутигской и ее подвида сосны Станкевича (пицундской) имеют разные значения в зависимости от

высоты произрастания над уровнем моря. Достоверное различие плотности древесины выявлено для сосны Станкевича (пицундской).

В формирование плотности древесины сосны Станкевича (пицундской) существенный вклад вносит величина в годовичном приросте доли ранней древесины. Более плотная древесина формируется у сосны брутигской в насаждениях, расположенных на различной высоте над уровнем моря. В целом на плотность древесины

сосны брутильской и ее подвида сосны Станкевича (пицундской) больше влияет величина годичного прироста и доля ранней древесины в нем.

Список литературы

- [1] Frankis M. *Pinus brutia* // Curtis's Botanical Magazine, 1999, v. 16. no. 3, pp. 173–184.
- [2] Литвинская С.А., Постарнак Ю.А. Сосна пицундская — редкий вид Черноморского побережья России. Краснодар: Изд-во Кубанского государственного университета, 2000. 311 с.
- [3] Алкинж С., Данилов Д.А. Сосна брутильская (*Pinus brutia* Ten.) как важный компонент лесов стран восточного Средиземноморья и Черноморского бассейна (обзор) // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии, 2022. Вып. 240. С. 173–184.
- [4] Mauri A., Di Leo M., de Rigo D., Caudullo G. *Pinus halepensis* and *Pinus brutia* in Europe: distribution, habitat, usage and threats // European Atlas of Forest Tree Species. Luxembourg: Publ. Off. EU, 2016, pp. 122–123.
- [5] Farjon A., Filer D. (Eds.). An Atlas of the World's Conifers: An Analysis of Their Distribution, Biogeography, Diversity, and Conservation Status. Nederland, Leiden: Brill, 2013, 512 p.
- [6] Bonari G., Fernández-González F., Çoban S. Classification of the Mediterranean lowland to submontane pine forest vegetation // Applied Vegetation Science, 2021, v. 24, iss. 1. DOI: 10.1111/avsc.1254
- [7] Коба В.П., Плуگارь Ю.В. К проблеме охраны природных популяций видов *Pinus* L. в Горном Крыму // Сб. науч. тр. ГНБС, 2014. Т. 139. С. 5–14.
- [8] Usta H.Z. A Study on the Yield of *Pinus brutia* Ten. Plantations. Turkey, Ankara: Turkish Forest Research Institute Publications, 1991, 138 p.
- [9] Джангиров М.Ю., Шевцов Б.П. Бонитетные шкалы для сосны пицундской (*Pinus pityusa* Steven) в Сочинском национальном парке // Известия Самарского научного центра РАН, 2014. № 5. С. 199–204.
- [10] Крыленко С.В., Алейникова А.М., Крыленко В.В. Естественное восстановление прибрежных растительных сообществ сосны пицундской после лесных пожаров // Вестник РУДН. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности, 2015. № 2. С. 26–32.
- [11] Çatal Y., Carus S. A height-diameter model for brutian pine (*Pinus brutia* Ten.) plantations in southwestern Turkey // Applied Ecology and Environmental Research, 2018, v. 16, pp. 1445–1459. DOI: 10.15666/aer/1602_14451459
- [12] Cetinkaya D., Bilir N. Effect of using harvesting residues as a nursery media on seedling weight in Brutian pine (*Pinus brutia* Ten.) // Reforesta, 2020, v. 9, pp. 37–43. DOI: 10.21750/REFOR.9.05.79
- [13] Suliman T., Berger U., van der Maaten-Theunissen M., van der Maaten E., Ali W. Modeling dominant height growth using permanent plot data for *Pinus brutia* stands in the Eastern Mediterranean region // Forest Systems, 2021, v. 30(1), pp. 1–5. DOI: 10.5424/fs/2021301-17687
- [14] Guller B. The effects of thinning treatments on density, MOE, MOR and maximum crushing strength of *Pinus brutia* Ten. wood // Annals of Forest Science, 2007, v. 64, pp. 467–475. DOI: 10.1051/forest:2007024
- [15] Атрохин В.Г., Калущий К.К., Тюриков Ф.Т. Древесные породы мира. Т. 3. Древесные породы СССР / под ред. К.К. Калущего. М.: Лесн. пром-сть, 1982. 264 с.
- [16] Adamopoulos S., Milios E., Doganos D., Bistinas I. Ring width, latewood proportion and dry density in stems of *Pinus brutia* Ten. // European J. of Wood and Wood Products, 2009, v. 67(4), pp. 471–477. DOI: 10.1007/s00107-009-0345-x
- [17] Bluskova G., Tashev A., Bardarov N. Structure, properties and possibilities of use of wood of Turkish pine (*Pinus brutia* Ten.) // 2nd Scientific Technical Conference «Innovation in woodworking industry and engineering design», 6–8 November 2009, Yundola, Bulgaria, Sofia: University of Forestry publisher, 2009, pp. 67–71.
- [18] Güller B., Isik K., Cetinay S. Genetic variation in *Pinus brutia* Ten.: Wood density traits // BioResources, 2011, v. 6(4), pp. 4012–4027.
- [19] Shater Z., De-Miguel S., Kraid B., Pukkala T., Palahí M. A growth and yield model for even-aged *Pinus brutia* Ten. stands in Syria // Annals of Forest Science, 2011, v. 68 (1), pp. 149–157. DOI: 10.1007/s13595-011-0016-z
- [20] Güller B. Determining wood density of turkish red pine (*Pinus Brutia* Ten.) by using X-ray densitometer // Turkish J. of Forestry, 2010, v. 11, iss. 2, pp. 97–109.
- [21] Gezer A. The silviculture of *Pinus brutia* in Turkey // Options Méditerranéennes. Paris: CIHEAM, 1986, pp. 55–66.
- [22] Quézel P. Taxonomy and biogeography of Mediterranean pines (*Pinus halepensis* and *P. brutia*) // Ecology, biogeography and management of *Pinus halepensis* and *P. brutia* forest ecosystems in the Mediterranean basin. Leiden: Buckhuys Publishers, 2000, pp. 1–12.
- [23] Palahí M., Pukkala T., Kasimiadis D., Poirazidis K., Papa-georgiou A.C. Modelling site quality and individual-tree growth in pure and mixed *Pinus brutia* stands in north-east Greece // Annals of Forest Science, 2008, v. 65(5), pp. 1–14. DOI: 10.1051/forest:2008022
- [24] Carus S., Çatal Y. Response to different thinning intensity in Calabrian Pine (*Pinus brutia* Ten.) Plantations in Turkey // International J. of Natural and Engineering Sciences, 2009, v. 3. pp. 126–131.
- [25] De Miguel S., Pukkala T., Assaf N., Bonet A. Even-aged or uneven-aged modelling approach? A case for *Pinus brutia* // Annals of Forest Science, 2012, v. 69, pp. 455–465.
- [26] Carus S., Çatal Y. Comparison of some diameter-height models for brutian pine (*Pinus brutia* Ten.) afforestations in Ağlasun region // Turkish J. of Forestry, 2017, v. 18, iss. 2, pp. 94–101. DOI: 10.18182/tjf.289330
- [27] Kitikidou K., Milios E., Radoglou K. Single-entry volume table for *Pinus brutia* in a planted peri-urban forest // Annals of Silvicultural Research, 2017, v. 41 (2), pp. 74–79. DOI: 10.12899/asr-1437
- [28] Çalikoğlu M., Özbey A.A., Altun Z.G., Yıldızbakan A., Yırık A. Assessment of Turkish Red Pine (*Pinus brutia* Ten.) provenance trials in terms of breast height diameter at 30th years age: The Mediterranean and the Aegean Regions // Theoretical and Applied Forestry, 2022, v. 1, pp. 8–18. DOI: 10.53463/tafor.2022vol2iss1pp8-18
- [29] Коршиков И.И., Горлова Е.М. Генетическая структура, подразделенность и дифференциация популяций сосны Станкевича в горном Крыму // Генетика, 2006. Т. 42. № 6. С. 824–832.
- [30] Kurt Y., Gonzalez-Martinez S.C., Alia R., Isik K. Genetic differentiation in *Pinus brutia* Ten. using molecular markers and quantitative traits: the role of altitude // Annals of Forest Science, 2012, v. 69, no. 3, pp. 345–351. DOI: 10.1007/s13595-011-0169-9
- [31] Семерикова С.А., Семериков Н.В. Сниженная изменчивость и высокая дифференциация маргинальных реликтовых популяций *Pinus brutia* Ten. в Крымско-Кавказском регионе // Экология, 2020. № 1. С. 25–35. DOI: 10.31857/S0367059720010114
- [32] Çalikoğlu M., Aydın A., Özbey A. Growth of superior Turkish red pine (*Pinus brutia* Ten.) provenances. Turkish Journal of Forestry // Turkish J. of Forestry, 2022, v. 23, pp. 11–20. DOI: 10.18182/tjf.1020457

- [33] Özbey A., Bilir N. Growth performance of seed sources in a progeny trial of *Pinus brutia* Ten. // *Reforesta*, 2022, v. 13, pp. 1–6. DOI: 10.21750/REFOR.13.01.94
- [34] Initial National Communication of the Syrian Arab Republic, 2010. URL: <https://unfccc.int/resource/docs/natc/syrmc1.pdf> (дата обращения 20.12.2022).
- [35] Forest Fire Management Plan. Syrian Arab Republic, Latakia: Latakia agriculture directorate, 2018, 48 p.
- [36] Воробьев О.Н., Али М.С. Классификация лесного покрова мухафаза Латакия Сирийской Арабской Республики по данным спутника Sentinel-2 // *Лесные экосистемы в условиях изменения климата: биологическая продуктивность и дистанционный мониторинг*. Йошкар-Ола: Изд-во ПГТУ, 2018. № 4. С. 110–122. DOI: 10.25686/2306-2827.2020.3.19
- [37] Али М.С., Лежнин С.А., Воробьев О.Н., Курбанов Э.А. Мониторинг растительного покрова мухафаза Латакия Сирийской Арабской Республики по снимкам Landsat // *Вестник Поволжского государственного технологического университета*. Серия: Лес. Экология. Природопользование, 2020. № 3 (47). С. 19–31. DOI: 10.25686/2306-2827.2020.3.19
- [38] Скребец Г.Н., Быстрова Н.В. Физико-географические основы проектирования водоохраных зон и прибрежных защитных полос в юго-восточном Крыму // *Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского*. Серия «География», 2013. Т. 26 (65), № 4. С. 54–63.
- [39] Лисецкий Ф.Н., Маринина О.А., Буряк Ж.А. Геоархеологические исследования исторических ландшафтов Крыма. Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2017. 432 с.
- [40] Горбунов Р.В., Горбунова Т.Ю., Дрыгваль А.В., Табунщик В.А. Изменение температуры воздуха в Крыму // *Социально-экологические технологии*, 2020. Т. 10. № 3. С. 370–383. DOI: 10.31862/2500-2961-2020-10-3-370-383
- [41] Плугатарь Ю.В. Леса Крыма. Ялта: Изд-во ГБУ РК «НБС-ННЦ», 2015. 385 с.
- [42] Плугатарь Ю.В., Коба В.П., Сахно Т.М., Хромов А.Ф. Типологическая структура и продуктивность сосновых лесов Горного Крыма // *Биология растений и садоводство: теория, инновации*, 2019. № 3(152). С. 26–35. DOI: 10.36305/2019-3-152-26-35
- [43] Варсегова Л.Ю., Мазуркин П.М., Фадеев А.Н. Практикум по экологическому древоведению. Йошкар-Ола: Изд-во МарГТУ, 2010. 41 с.
- [44] Gregoire T., Lappi J. *Forestry, Statistics and Biometry in // Wiley StatsRef: Statistics Reference Online*, 2014. URL: <https://doi.org/10.1002/9781118445112.stat03435> (дата обращения 20.12.2022).
- [45] *Statistics in Forestry: Methods and Applications / Eds. Chandra G., Nautiyal R., Chandra H., Roychoudhury N., Mohammad N.* Bonfring Publication, India, Jabalpur, 2015, 140 p.
- [46] Arney J. *Biometric Methods for Forest Inventory // Forest Growth and Forest Planning. The Forester's Guidebook.* Forest Biometrics Research Institute Publisher, 2016, 365 p.
- [47] Pommerening A., Grabarnik P. *Individual-based Methods in Forest Ecology and Management.* Springer Nature Publisher, Switzerland, 2019, 411 p. DOI: 10.1007/978-3-030-24528-3

Сведения об авторах

Алкинж Самер — аспирант ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова», sameralkinj@gmail.com

Данилов Дмитрий Александрович — д-р с.-х. наук, профессор кафедры лесоводства ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова»; гл. науч. сотр. Ленинградского НИИСХ «Белогорка» — филиала ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха», stow200@mail.ru

Зайцев Дмитрий Андреевич — канд. с.-х. наук, ст. науч. сотр. отдела агрохимии и агроландшафтов Ленинградского НИИСХ «Белогорка» — филиала ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха», disoks@gmail.com

Поступила в редакцию 12.01.2023.

Одобрено после рецензирования 11.04.2023.

Принята к публикации 06.12.2023.

BRUTYSKAYA PINE AND STANKEVICH PINE WOOD DENSITY IN ARTIFICIAL STANDS

S. Alkinzh¹, D.A. Danilov^{1,2}, D.A. Zaytsev²✉

¹Saint-Petersburg State Forest Technical University, Institute of forests and natural resources, 5, Institutsky alleyway, 194021, Saint-Petersburg, Russia

²Leningrad Research Agriculture Institute Branch of Russian Potato Research Centre, 1, Institutskaya st., 188338, Belogorka, Leningrad reg., Russia

disoks@gmail.com

Variation of Brutyskaya pine (*Pinus brutia* Ten.) wood density and its macrostructure parameters depending on the growth height above sea level on the Mediterranean coast within Syria, and its subspecies (*Pinus brutia* var. *pithyusa*) on the Southern coast of Crimea within the Black Sea coast is considered. The study was conducted in artificially created plantations aged 45...55 years. Four plots were surveyed within the province of Latakia in the Syrian Arab Republic (30, 190, 330, 655 m above sea level, respectively) and three sites within the South Coast of Crimea in the Russian Federation (25, 150, 200 m above sea level, respectively). The taxation characteristics were determined, as well as the basic wood density and its macrostructure parameters such as the width of late and early xylem zones from wood cores taken at a height of 1.3 m from the ground level were examined. Dispersion analysis of the data obtained was carried out. The accuracy degree of the altitude above sea level factor influence on wood density is shown. Different direction of the altitude above sea level effect on wood macrostructure parameters was found for the studied plots. It is found that at an altitude of more than 190 in Latakia, Syrian Arab Republic and more than 150 m above sea level on the South Coast of Crimea in the Russian Federation do not differ significantly in macrostructure parameters. The significance of differences in wood density in the regions under consideration as a function of altitude above sea level is indicated.

Keywords: Brutyskaya pine, wood density, width of annual layer, early and late xylem

Suggested citation: Alkinzh S., Danilov D.A., Zaytsev D.A. *Plotnost' drevesiny sosny brutijskoj i sosny Stankevicha v iskusstvennykh nasazhdeniyah* [Brutyskaya pine and Stankevich pine wood density in artificial stands]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2024, vol. 28, no. 1, pp. 108–120. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-1-108-120

References

- [1] Frankis M. *Pinus brutia*. Curtis's Botanical Magazine, 1999, v. 16, no. 3, pp. 173–184.
- [2] Litvinskaya S.A., Postarnak Yu.A. *Sosna pitsundskaya — redkiy vid Chernomorskogo poberezh'ya Rossii* [Pitsunda pine is a rare species of the Black Sea coast of Russia]. Krasnodar: Kuban State University publisher, 2000, 311 p.
- [3] Alkinzh S., Danilov D.A. *Sosna brutijskaya (Pinus brutia Ten.) kak vazhnyy komponent lesov stran vostochnogo Sredizemnomor'ya i Chernomorskogo basseyna (obzor)* [Brutian pine (*Pinus brutia* Ten.) as an important component of forests in the countries of the eastern Mediterranean and the Black Sea basin (review)]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [News of the St. Petersburg Forestry Academy], 2022, v. 240, pp. 173–184.
- [4] Mauri A., Di Leo M., de Rigo D., Caudullo G. *Pinus halepensis* and *Pinus brutia* in Europe: distribution, habitat, usage and threats. *European Atlas of Forest Tree Species*. Luxembourg: Publ. Off. EU, 2016, pp. 122–123.
- [5] Farjon A., Filer D. (Eds.). *An Atlas of the World's Conifers: An Analysis of Their Distribution, Biogeography, Diversity, and Conservation Status*. Nederland, Leiden: Brill, 2013, 512 p.
- [6] Bonari G., Fernández-González F., Çoban S. Classification of the Mediterranean lowland tosubmontane pine forest vegetation. *Applied Vegetation Science*, 2021, v. 24, iss. 1. DOI: 10.1111/avsc.1254
- [7] Koba V.P., Plugatar' Yu.V. *K probleme okhrany prirodnykh populyatsiy vidov Pinus L. v Gornom Krymu* [On the problem of protecting natural populations of *Pinus L.* species in the Crimean Mountains]. *Collection of scientific works of the GNBS*, 2014, t. 139, pp. 5–14.
- [8] Usta H.Z. *A Study on the Yield of Pinus brutia Ten. Plantations*. Turkey, Ankara: Turkish Forest Research Institute Publications, 1991, 138 p.
- [9] Dzhangiroy M.Yu., Shevtsov B.P. *Bonitetnye shkaly dlya sosny pitsundskoy (Pinus pityusa Steven) v Sochinskom natsional'nom parke* [Bonitet scales for Pitsunda pine (*Pinus pityusa* Steven) in Sochi National Park]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN* [News of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2014, no. 5, pp. 199–204.
- [10] Krylenko S.V., Aleynikova A.M., Krylenko V.V. *Estestvennoe vosstanovlenie pribrezhnykh rastitel'nykh soobshchestv sosny pitsundskoy posle lesnykh pozharov* [Natural restoration of coastal plant communities of Pitsunda pine after forest fires]. *Vestnik RUDN. Seriya: Ekologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti* [Bulletin of RUDN University. Series: Ecology and life safety], 2015, no. 2, pp. 26–32.
- [11] Çatal Y., Carus S. A height-diameter model for brutian pine (*Pinus Brutia* Ten.) plantations in southwestern Turkey. *Applied Ecology and Environmental Research*, 2018, v. 16, pp. 1445–1459. DOI: 10.15666/aeer/1602_14451459
- [12] Cetinkaya D., Bilir N. Effect of using harvesting residues as a nursery media on seedling weight in Brutian pine (*Pinus brutia* Ten.). *Reforesta*, 2020, v. 9, pp. 37–43. DOI: 10.21750/REFOR.9.05.79
- [13] Suliman T., Berger U., van der Maaten-Theunissen M., van der Maaten E., Ali W. Modeling dominant height growth using permanent plot data for *Pinus brutia* stands in the Eastern Mediterranean region. *Forest Systems*, 2021, v. 30(1), pp. 1–5. DOI: 10.5424/fs/2021301-17687
- [14] Guller B. The effects of thinning treatments on density, MOE, MOR and maximum crushing strength of *Pinus brutia* Ten. wood. *Annals of Forest Science*, 2007, v. 64, pp. 467–475. DOI: 10.1051/forest:2007024

- [15] Atrokhin V.G., Kalutskiy K.K., Tyurikov F.T. *Drevesnye porody mira. T. 3. Drevesnye porody SSSR* [Tree species of the world. T. 3. Tree species of the USSR]. Ed. K.K. Kalutsky. Moscow: Lesn. prom-st' [Forestry industry], 1982, 264 p.
- [16] Adamopoulos S., Milios E., Doganos D., Bistinas I. Ring width, latewood proportion and dry density in stems of *Pinus brutia* Ten. *European J. of Wood and Wood Products*, 2009, v. 67(4), pp. 471–477. DOI: 10.1007/s00107-009-0345-x
- [17] Bluskova G., Tashev A., Bardarov N. Structure, properties and possibilities of use of wood of Turkish pine (*Pinus brutia* Ten.). 2nd Scientific Technical Conference «Innovation in woodworking industry and engineering design», 6–8 November 2009, Yundola, Bulgaria, Sofia: University of Forestry publisher, 2009, pp. 67–71.
- [18] Güller B., Isik K., Cetinay S. Genetic variation in *Pinus brutia* Ten.: Wood density traits. *BioResources*, 2011, v. 6(4), pp. 4012–4027.
- [19] Shater Z., De-Miguel S., Kraid B., Pukkala T., Palahí M. A growth and yield model for even-aged *Pinus brutia* Ten. stands in Syria. *Annals of Forest Science*, 2011, v. 68 (1), pp. 149–157. DOI: 10.1007/s13595-011-0016-z
- [20] Güller B. Determining wood density of turkish red pine (*Pinus Brutia* Ten.) by using X-ray densitometer. *Turkish J. of Forestry*, 2010, v. 11, iss. 2, pp. 97–109.
- [21] Gezer A. The silviculture of *Pinus brutia* in Turkey. *Options Méditerranéennes*. Paris: CIHEAM, 1986, pp. 55–66.
- [22] Quézel P. Taxonomy and biogeography of Mediterranean pines (*Pinus halepensis* and *P. brutia*). *Ecology, biogeography and management of Pinus halepensis and P. brutia forest ecosystems in the Mediterranean basin*. Leiden: Buckhuys Publishers, 2000, pp. 1–12.
- [23] Palahí M., Pukkala T., Kasimiadis D., Poirazidis K., Papageorgiou A.C. Modelling site quality and individual-tree growth in pure and mixed *Pinus brutia* stands in north-east Greece. *Annals of Forest Science*, 2008, v. 65(5), pp 1–14. DOI: 10.1051/forest:2008022
- [24] Carus S., Çatal Y. Response to different thinning intensity in Calabrian Pine (*Pinus brutia* Ten.) Plantations in Turkey. *International J. of Natural and Engineering Sciences*, 2009, v. 3. pp. 126–131.
- [25] De Miguel S., Pukkala T., Assaf N., Bonet A. Even-aged or uneven-aged modelling approach? A case for *Pinus brutia*. *Annals of Forest Science*, 2012, v. 69, pp. 455–465.
- [26] Carus S., Çatal Y. Comparison of some diameter-height models for brutian pine (*Pinus brutia* Ten.) afforestations in Ağlasun region. *Turkish J. of Forestry*, 2017, v. 18, iss. 2, pp. 94–101. DOI: 10.18182/tjf.289330
- [27] Kitikidou K., Milios E., Radoglou K. Single-entry volume table for *Pinus brutia* in a planted peri-urban forest. *Annals of Silvicultural Research*, 2017, v. 41 (2), pp. 74–79. DOI: 10.12899/asr-1437
- [28] Çalikoğlu M., Özbey A.A., Altun Z.G., Yıldızbakan A., Yirik A. Assessment of Turkish Red Pine (*Pinus brutia* Ten.) provenance trials in terms of breast height diameter at 30th years age: The Mediterranean and the Aegean Regions. *Theoretical and Applied Forestry*, 2022, v. 1, pp. 8–18. DOI: 10.53463/tafor.2022vol2iss1pp8-18
- [29] Korshikov I.I., Gorlova E.M. *Geneticheskaya struktura, podrazdelenost' i differentsiatsiya populyatsiy sosny Stankevicha v gornom Krymu* [Genetic structure, subdivision and differentiation of Stankevich pine populations in the mountainous Crimea]. *Genetics*, 2006, t. 42, no. 6, pp. 824–832.
- [30] Kurt Y., Gonzalez-Martinez S.C., Alia R., Isik K. Genetic differentiation in *Pinus brutia* Ten. using molecular markers and quantitative traits: the role of altitude. *Annals of Forest Science*, 2012, v. 69, no. 3, pp. 345–351. DOI: 10.1007/s13595-011-0169-9
- [31] Semerikova S.A., Semerikov N.V. *Snizhennaya izmenchivost' i vysokaya differentsiatsiya marginal'nykh reliktovykh populyatsiy Pinus brutia Ten. v Krymsko-Kavkazskom regione* [Reduced variability and high differentiation of marginal relict populations of *Pinus brutia* Ten. in the Crimean-Caucasian region]. *Ecology*, 2020, no. 1, pp. 25–35. DOI: 10.31857/S0367059720010114
- [32] Çalikoğlu M., Aydın A., Özbey A. Growth of superior Turkish red pine (*Pinus brutia* Ten.) provenances. *Turkish Journal of Forestry*. *Turkish J. of Forestry*, 2022, v. 23, pp. 11–20. DOI: 10.18182/tjf.1020457
- [33] Özbey A., Bilir N. Growth performance of seed sources in a progeny trial of *Pinus brutia* Ten. *Reforesta*, 2022, v. 13, pp. 1–6. DOI: 10.21750/REFOR.13.01.94
- [34] Initial National Communication of the Syrian Arab Republic, 2010. Available at: <https://unfccc.int/resource/docs/natc/syrmc1.pdf> (accessed 20.12.2022).
- [35] Forest Fire Management Plan. Syrian Arab Republic, Lattakia: Lattakia agriculture directorate, 2018, 48 p.
- [36] Vorob'ev O.N., Ali M.S. *Klassifikatsiya lesnogo pokrova mukhafaza Latakia Siriyskoy Arabskoy Respubliki po dannym sputnika Sentinel-2* [Classification of forest cover in the Latakia governorate of the Syrian Arab Republic according to Sentinel-2 satellite data]. *Lesnye ekosistemy v usloviyakh izmeneniya klimata: biologicheskaya produktivnost' i distantsionnyy monitoring* [Forest ecosystems under climate change: biological productivity and remote monitoring]. Yoshkar-Ola: PSTU publisher, 2018, no. 4, pp. 110–122.
- [37] Ali M.S., Lezhnin S.A., Vorob'ev O.N., Kurbanov E.A. *Monitoring rastitel'nogo pokrova mukhafaza Latakia Siriyskoy Arabskoy Respubliki po snimkam Landsat* [Monitoring of vegetation cover in the Latakia governorate of the Syrian Arab Republic using Landsat images]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta*. Seriya: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie [Bulletin of the Volga State Technological University. Series: Forest. Ecology. Nature Management], 2020, no. 3 (47), pp. 19–31. DOI: 10.25686/2306-2827.2020.3.19
- [38] Skrebets G.N., Bystrova N.V. *Fiziko-geograficheskie osnovy proektirovaniya vodookhrannykh zon i pribrezhnykh zashchitnykh polos v yugo-vostochnom Krymu* [Physico-geographical basis for the design of water protection zones and coastal protective strips in the south-eastern Crimea]. *Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo*. Seriya «Geografiya» [Scientific notes of the Crimean Federal University named after V.I. Vernadsky]. Series «Geography», 2013, t. 26 (65), no. 4, pp. 54–63.
- [39] Lisetskiy F.N., Marinina O.A., Buryak Zh.A. *Geoarkheologicheskie issledovaniya istoricheskikh landshaftov Kryma* [Geoarchaeological studies of historical landscapes of Crimea]. Voronezh: VSU Publishing House, 2017, 432 p.
- [40] Gorbunov R.V., Gorbunova T.Yu., Drygval' A.V., Tabunshchik V.A. *Izmenenie temperatury vozdukha v Krymu* [Changes in air temperature in Crimea]. *Sotsial'no-ekologicheskije tekhnologii* [Social and environmental technologies], 2020, v. 10, no. 3, pp. 370–383. DOI: 10.31862/2500-2961-2020-10-3-370-383

- [41] Plugatar' Yu.V. *Lesy Kryma* [Forests of Crimea]. Yalta: State Budgetary Institution of the Republic of Kazakhstan «NBS-NNTS» publisher, 2015, 385 p.
- [42] Plugatar' Yu.V., Koba V.P., Sakhno T.M., Khromov A.F. *Tipologicheskaya struktura i produktivnost' sosnovykh lesov Gornogo Kryma* [Typological structure and productivity of pine forests of the Crimean Mountains]. *Biologiya rasteniy i sadovodstvo: teoriya, innovatsii* [Plant biology and gardening: theory, innovations], 2019, no. 3(152), pp. 26–35. DOI: 10.36305/2019-3-152-26-35
- [43] Varsegova L. Yu., Mazurkin P.M., Fadeev A.N. *Praktikum po ekologicheskomu drevovedeniyu* [Workshop on ecological tree science]. Yoshkar-Ola: MarSTU publisher, 2010, 41 p.
- [44] Gregoire T., Lappi J. Forestry, Statistics and Biometry in. Wiley StatsRef: Statistics Reference Online, 2014. Available at: <https://doi.org/10.1002/9781118445112.stat03435> (accessed 20.12.2022).
- [45] *Statistics in Forestry: Methods and Applications*. Eds. Chandra G., Nautiyal R., Chandra H., Roychoudhury N., Mohammad N. Bonfring Publication, India, Jabalpur, 2015, 140 p.
- [46] Arney J. Biometric Methods for Forest Inventory. Forest Growth and Forest Planning. The Forester's Guidebook. Forest Biometrics Research Institute Publisher, 2016, 365 p.
- [47] Pommerening A., Grabarnik P. Individual-based Methods in Forest Ecology and Management. Springer Nature Publisher, Switzerland, 2019, 411 p. DOI: 10.1007/978-3-030-24528-3

Authors' information

Alkinzh Samer — pg. of Federal State Educational Institution of Higher Professional Education «Saint-Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov», sameralkinj@gmail.com

Danilov Dmitry Aleksandrovich — Dr. Sci. (Agriculture), Professor of Forestry Department of Federal State Educational Institution of Higher Professional Education «Saint-Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov»; Principal Researcher of Department of Agrochemistry and Agrolandscapes, Leningrad Research Agriculture Institute Branch of Russian Potato Research Centre, stown200@mail.ru

Zaytsev Dmitriy Andreevich — Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher of Department of Agrochemistry and Agrolandscapes, Leningrad Research Agriculture Institute Branch of Russian Potato Research Centre, disoks@gmail.com

Received 12.01.2023.

Approved after review 11.04.2023.

Accepted for publication 06.12.2023.

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

ЗНАЧЕНИЕ МЕЗОРЕЛЬЕФА В ФОРМИРОВАНИИ СТРУКТУРЫ ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ (*PINUS SYLVESTRIS* L.) В ПОДЗОНЕ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ

Н.А. Неверов[✉], Ю.Г. Кутинов, З.Б. Чистова, Е.В. Полякова, А.Л. Минеев

ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова Уральского отделения Российской Академии Наук», Архангельск, 163020, Архангельск, пр. Никольский, д. 20

na-neverov@yandex.ru

Приведены данные о влиянии мезорельефа на рост сосны на равнинных территориях севера европейской части России (Устьянский район, Архангельская область). Используются стандартные методы измерения радиальных приростов, параметров мезорельефа и статистического анализа. Выявлена высокая обратная корреляция толщины стенки ранних трахеид древесины сосны с экспозицией склонов, фотосинтетически активной радиацией и анизотропным распределением суточного тепла (–0,81... –0,89). Выявлена высокая прямая корреляция толщины стенки трахеид поздней древесины и топографическим индексом влажности, профильной кривизной (0,88). Отсутствие явных связей рельефа и макроструктурных элементов древесины сосны вероятно вызвано слабой выраженностью рельефа.

Ключевые слова: сосна, мезорельеф, радиальный рост, анатомия древесины, топографический индекс влажности, фотосинтетически активная радиация, анизотропное распределение суточного тепла, угол наклона, экспозиция

Ссылка для цитирования: Неверов Н.А., Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б., Полякова Е.В., Минеев А.Л. Значение мезорельефа в формировании структуры древесины сосны (*Pinus sylvestris* L.) в подзоне средней тайги // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2024. Т. 28. № 1. С. 121–129. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-1-121-129

Рельеф является значимым абиотическим фактором продуктивности лесных экосистем. В частности, в низменных моренных ландшафтах Севера Европы продуктивные биоценозы приурочены к долинам рек, занимая такие отдельные элементы мезорельефа, как вершины и склоны гряд или моренные холмы [1–5]. Однако влияние мезорельефа на макроструктуру древесины сосны, которая непосредственно определяет качество древесины, изучено недостаточно. Расчет геоморфометрических параметров рельефа на основе гидрологически корректной цифровой модели рельефа (ЦМР) Архангельской области, построенной на базе ASTER GDEM (версия 2, 2011), позволяет получить точные и объективные данные.

Лимитирующим фактором роста древесных растений в таежной зоне Европейской части России является тепловой режим вегетационного периода; осадки влияют незначительно [6–8]. В других регионах таежной зоны выявлены сходные закономерности. Температура июня — июля ограничивает радиальный рост древесины сосны на севере Финляндии [9, 10] в центральной части Сибири [11] и в Республике Коми [12].

Избыточное количество осадков вымывает микроэлементы (P, Ca, K, Na) из верхних горизонтов почвы, что приводит к ее закислению, избытку Fe, Al и значительному снижению плодородия [13].

Современные цифровые технологии, в частности цифровое моделирование рельефа, позволяет количественно моделировать и анализировать топографию земной поверхности, выявлять взаимосвязь между рельефом и другими природными и антропогенными компонентами геосистемы [14]. Сложность научных и практических исследований, необходимость снижения уровня их субъективности и появление ЦМР свободного доступа и ГИС-технологий определили переход от традиционных морфометрических методов к цифровому моделированию рельефа [15].

Цель работы

Цель работы — выявление взаимосвязи абиотической среды (мезорельефа) с процессом формирования макроструктуры и анатомическим строением древесины сосны.

Материалы и методы

Объект исследования — естественные сосновые древостои (*Pinus sylvestris* L.), Устьянского района Архангельской области (рисунок) (подзона средней тайги). Пробные площади (ПП) были заложены в типичных типах леса (черничном, сфагновом, брусничном).

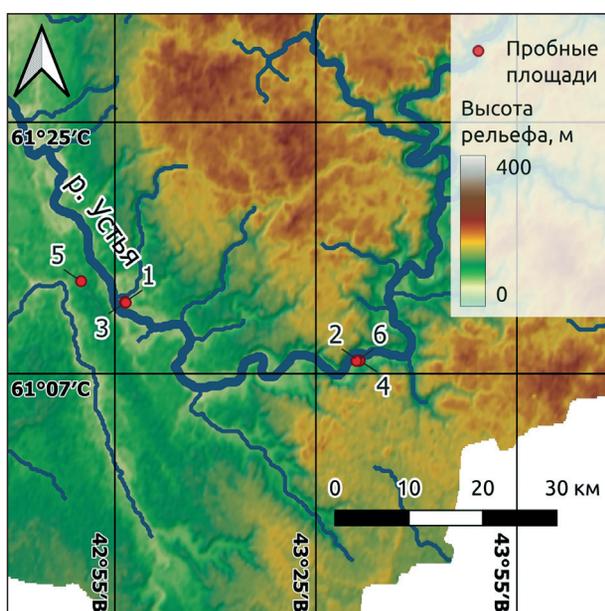
На ПП с помощью возрастного бурава (Huglof, Швеция) было отобрано по 30 кернов древесины сосны у растений без видимых повреждений перпендикулярно стволу дерева на высоте 1,3 м от поверхности земли (табл. 1).

Таксационная характеристика исследуемых древостоев

Taxational characteristics of the studied stands

Номер пробной площади	Тип леса	Высота дерева, м	Полнота	Состав древостоя	Возраст, лет	Бонитет	Запас древесины, м ³ /га
1	Черничный	17	0,8	7С3Е+Б	65	IV	150
2		19	0,7	8С2Е	80	IV	180
3	Лишайниковый	12	0,6	10С	90	Va	40
4		10	0,4	10С	100	Va	40
5	Брусничный	18	0,7	8С2Б	80	III	220
6		18	0,7	8С2Б	70	III	210

Примечание. С — сосна; Е — ель; Б — береза.



Расположение пробных площадей
Location of sample plots

Для макроструктуры древесины были определены доля поздней древесины и ширина годичного слоя, для микроструктуры — толщина клеточных стенок ранней и поздней древесины, поскольку значения этих показателей напрямую определяют физико-механические свойства, а следовательно, и качество древесины.

Доля поздней древесины и ширина годичного слоя измерялись с помощью прибора Lintab 6 (Rinntech, Германия) и программы TSAP-Win [16]. Для измерения толщины стенок трахеид ранней и поздней древесины отбирались образцы ядровой древесины 50–60-летнего возраста толщиной 1 см из 10 кернов с каждой ПП. Затем их кипятили на паровой бане 3 ч. После этого на микротоме МС-2 изготавливались поперечные срезы толщиной от 14...18 микрон. Окрашивание срезов проводили раствором сафранина в течение 2–3 мин. Срезы использовались для измерения

20 клеток ранней и поздней древесины в каждом видимом годичном слое [17] с использованием светового микроскопа Axioscope A1 с дозирующим устройством (Zeiss, Германия).

Для расчета геоморфометрических параметров использовалась гидрологически корректная ЦМР Архангельской области, разработанная на основе свободно распространяемой глобальной ЦМР ASTER GDEM (версия 2, 2011) в программе SAGA GIS (версия 6.4.0, 2018) [18]. Были построены растровые карты наклона и экспозиции склонов, затем на них нанесен векторный слой ПП, и для каждой ПП были извлечены значения параметров рельефа.

Большое количество геоморфометрических параметров (более 20), а также использование при расчетах одних и тех же высотных отметок, вызвали необходимость проведения выбора параметров, влияющих на состояние лесов. В частности, для оценки влияния рельефа на древесину сосны были выбраны следующие геоморфометрические параметры рельефа:

- угол наклона;
- экспозиция склонов;
- общая (ОК), профильная (ПрофК) и плановая (ПланК) кривизны;
- топографический индекс влажности (ТИВ);
- индекс потенциала плоскостной эрозии (LS-фактор);
- фотосинтетически активная радиация (ФАР);
- анизотропное распределение суточного тепла (АРСТ).

Расчет перечисленных параметров проведен с помощью следующих уравнений:

$$\text{Угол наклона} = \arctan(\sqrt{G^2 + H^2}), \quad (1)$$

где G — угол наклона в направлении с востока на запад;

H — угол наклона в направлении с юга на север;

$$\text{Экспозиция} = 180^\circ - \arctan\left(\frac{H}{G}\right) + 90^\circ \cdot \left(\frac{G}{|G|}\right); \quad (2)$$

$$\text{ТИВ} = \ln\left(\frac{A}{\tan(\beta)}\right), \quad (3)$$

где A — удельная водосборная площадь в конкретной ячейке раstra;

β — локальный уклон (угол наклона в градусах);

$$\text{LS фактор} = \left(\frac{As}{22,13}\right)^m \cdot \left(\frac{\sin \beta}{0,0896}\right)^n, \quad (4)$$

где $m = 0,4 \dots 0,6$;

$n = 1,2 \dots 1,3$;

As — удельная водосборная площадь;

β — угол наклона в градусах;

$$\text{ФАР} = 0,42S + 0,60D, \quad (5)$$

где S — суммарная дневная прямая инсоляция;

D — суммарная дневная рассеянная инсоляция.

$$\text{АРСТ} = \cos(\alpha_{\max} - \alpha) \arctan(\beta), \quad (6)$$

где α_{\max} — экспозиция склона, на котором наблюдается максимальный избыток тепла;

α — экспозиция склона;

β — угол наклона в градусах;

$$\text{ПрофК} = \frac{\left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2 \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} + 2 \frac{\partial z}{\partial x} \frac{\partial z}{\partial y} \frac{\partial^2 z}{\partial x \partial y} + \left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2 \frac{\partial^2 z}{\partial y^2}}{\left(\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2\right) \sqrt{\left(\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2\right)^3}}, \quad (7)$$

где $\frac{\partial z}{\partial y}$ — частная производная функции направления земной поверхности с севера на юг;
 $\frac{\partial z}{\partial x}$ — частная производная функции направления земной поверхности с запада на восток;

$$\text{ПланК} = \frac{\left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2 \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} - 2 \frac{\partial z}{\partial x} \frac{\partial z}{\partial y} \frac{\partial^2 z}{\partial x \partial y} + \left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2 \frac{\partial^2 z}{\partial y^2}}{\sqrt{\left(\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2\right)^3}}, \quad (8)$$

$$\text{ОК} = -2(2D + 2E) \quad (9)$$

$$\text{где } D = \frac{(z_4 + z_6) - z_5}{l^2} \quad E = \frac{(z_2 + z_8) - z_5}{l^2}.$$

В целом морфометрические показатели ПП отличаются незначительно, что характерно для равнинных территорий, к которым относится и исследуемый регион:

— угол наклона склонов — от $0,97^\circ$ до $1,65^\circ$;
 — значения высот — от 70,6 до 86,2 м;
 — преобладающие экспозиции склонов — северо-восточная, юго-восточная и юго-западная (табл. 2).

Статистический анализ проводился с использованием программного обеспечения Python (версия 2.7.12, 2016) пакет Sci Py (версия 0.18.1, 2016).

Результаты и обсуждение

Полученные показатели ширины годичного слоя, доли поздней древесины, толщины стенок трахеид ранней и поздней древесины типичны для данной широты и условий произрастания (табл. 3) [19–21], и сопоставимы с показателями древесины сосны, произрастающей в Швеции на той же широте, что и исследуемый регион [22].

Корреляционный анализ показателей строения древесины и морфометрических характеристик рельефа выявил следующие закономерности.

Ширина годичного кольца и содержание поздней древесины не имеют выраженной зависимости от показателей рельефа. Выявлена высокая обратная корреляция между толщиной стенки трахеид ранней древесины и экспозицией склонов, индексами ФАР и АРСТ ($r = -0,81 \dots -0,88$). Толщина стенки трахеид поздней древесины коррелирует с индексами ТИВ и профильной кривизной ($r = 0,88$).

Корреляция отсутствует с высотой над уровнем моря, углом наклона склонов, общей и плановой кривизной, LS-фактором (табл. 4).

Древесное кольцо интегрирует влияние комплекса условий природной среды. Важнейшими факторами, определяющими скорость протекания физиологических процессов (дыхание, фотосинтез и рост) являются свет, тепло и влажность почвы [23, 24]. Температура почвы определяет начало возобновления ростовых процессов в начале вегетационного периода [19, 25].

Климатическая реакция древесных растений зависит от экспозиции [26–29] и крутизны склона, регулирующих прямое солнечное излучение, которое является важнейшим источником тепла [30–32]. Прямые солнечные лучи повышают температуру верхних горизонтов почвы и уменьшают ее влажность [33, 34].

Угол наклона — важнейший фактор воздействия на почвы в бореальных лесах, поскольку определяет структуру и направление водного потока на ландшафтном уровне и совместно с кривизной склона создает различные условия влажности почв и определяет характер стока [35]. Исследуемая территория представляет собой слабо покатую равнину с углами наклона не более 2° , чем, вероятно, можно объяснить отсутствие взаимосвязей между шириной годичного кольца,

Т а б л и ц а 2

Морфометрические параметры рельефа исследуемых пробных площадей
Morphometric parameters of the studied sample plots relief

Параметр	Пробная площадь					
	1	2	3	4	5	6
Альтитуда, м	72	70	86	86	85	81
Угол наклона	1,24°	1,65°	0,97°	1,43°	1,40°	1,39°
Экспозиция, румб	С-В	С-В	С-В	Ю-В	Ю-В	Ю-З
Общая кривизна	0,000340	0,000450	0,000304	0,000114	-0,000519	-0,000245
Профильная кривизна	0,000073	0,000060	0,000091	-0,000016	-0,000132	-0,000122
Плановая кривизна	0,004694	0,006984	0,002276	0,003201	-0,023062	-0,000084
ТИВ	12,6	12,5	11,5	12,1	12,1	12,0
LS-фактор	0,44	0,75	0,01	0,50	0,52	0,62
ФАР, кВт/м ²	329,7	330,2	330,6	334,5	333,9	334,8
АРСТ	-0,0181	-0,0163	-0,0136	0,0117	0,0058	0,0240

Примечание. Значения ТИВ, LS-фактор, ФАР, АРСТ, общая кривизна, профильная кривизна, плановая кривизна являются индексами от -1 до 1.

Т а б л и ц а 3

Показатели макроструктуры и анатомического строения древесины сосны
Indicators of the pine wood macrostructure and anatomical structure

Параметр	Пробная площадь					
	1	2	3	4	5	6
Доля поздней древесины, %	25,5 ± 0,86	25,3 ± 0,73	22,8 ± 0,76	23,4 ± 0,45	22,8 ± 0,54	27,4 ± 0,70
Ширина годичного слоя, мм	1,12 ± 0,05	0,75 ± 0,02	0,59 ± 0,03	0,54 ± 0,03	1,50 ± 0,06	1,00 ± 0,03
Толщина клеточной стенки трахеид, мкм						
	ранняя древесина	2,86 ± 0,04	3,22 ± 0,04	2,79 ± 0,06	3,15 ± 0,06	2,64 ± 0,07
поздняя древесина	7,45 ± 0,05	8,01 ± 0,05	7,16 ± 0,07	7,51 ± 0,04	3,64 ± 0,09	4,11 ± 0,10

Т а б л и ц а 4

Коэффициент корреляции по Спирмену между морфометрическими показателями рельефа и показателями качества древесины сосны
Spearman correlation coefficient between morphometric relief indicators and pine wood quality indicators

Морфометрический показатель	Доля поздней древесины	Ширина годичного слоя	Толщина стенок трахеид	
			Ранняя древесина	Поздняя древесина
Альтитуда	0,48	0,54	-0,40	-0,54
Угол наклона	-0,31	-0,37	0,02	0,31
Экспозиция склонов	-0,54	0,54	-0,81	-0,60
ТВИ	-0,2	-0,65	0,66	0,88
Общая кривизна	-0,14	0,14	0,52	0,77
Профильная кривизна	-0,60	-0,08	0,69	0,88
Плановая кривизна	-0,08	0,08	0,34	0,65
LS-фактор	-0,77	-0,25	-0,26	-0,02
ФАР	-0,54	-0,54	-0,81	-0,60
АРСТ	-0,37	0,71	-0,89	-0,77

Примечание. Достоверные значения при $p < 0,05$ выделены жирным шрифтом.

долей поздней древесины с морфометрическими параметрами рельефа.

Обратная корреляция толщины клеточных стенок ранней древесины с С-В экспозицией,

по-видимому связана с местоположением исследуемых древостоев в пределах трех румбов С-В, Ю-В и Ю-З. Юго-западный склон наиболее теплообеспеченный и, возможно, излишняя инсо-

ляция приводит к значительному сокращению скорости радиального роста за счет уменьшения количества ассимилятов, которые начинают расходоваться на дыхание, и активацией ферментов, ответственных за расщепление протопласта [35]. Для параметров ФАР и АРСТ также выявлена значимая отрицательная корреляция, так как их рассчитывают на основе экспозиции.

Распространенное мнение о том, что ФАР положительно влияет на рост растений, обосновано широко распространенной оценкой влияния качества света на фотосинтез, что получено по кривой усваиваемого растением потока фотонов, в соответствии с которой фотоны с длиной волны 600...630 нм обеспечивают фотосинтезом на 20...30 % больше, чем фотоны с длиной волны 400...540 нм [36]. Однако спектры поглощения хлорофиллов а, b и каротиноидов показывает, что количество поглощенного света имеет иную закономерность. Значение ФАР не учитывает разницу между разными длинами волн в диапазоне 400...700 нм. К тому же используется предположение, что волны за пределами этого диапазона имеют нулевую фотосинтетическую активность.

Значения ФАР представляют собой сумму прямой и диффузной инсоляции и зависят от географического положения района, определяющего положение Солнца (угол возвышения Солнца).

Значение высоты Солнца над горизонтом изменяется на 23,5° в умеренных широтах в течение года (наклон плоскости земного экватора к плоскости эклиптики). В высоких широтах угол склонения Солнца максимально пологий. Для прямой солнечной радиации установлена тесная зависимость коэффициента ФАР от высоты Солнца в пределах от 10 до 75° [37].

Чем меньше высота Солнца, тем длиннее путь лучей, тем больше поглощение и рассеивание радиации, тем сильнее изменяется ее спектральный состав: понижается энергия наиболее коротковолновых лучей — синих и фиолетовых, преобладающими становятся желтые и красные. В связи с этим, несмотря на то что самый длинный период инсоляции на севере (полярный день) составляет 13...16 ч в сутки в летний период, интенсивность инсоляции здесь невелика, поскольку в летнее время траектория солнечных лучей здесь пологая.

ТИБ и профильная кривизна являются производными величинами угла наклона и отражают форму склонов.

Образование клеток поздней древесины происходит во второй половине лета и зависит как от погодных условий, так и от содержания элементов минерального питания в почвах. При достаточном их количестве рост клеток поздней древесины может продолжаться до середины сентября [19].

Выявленные высокая степень корреляции ТИБ и толщины стенок трахеид поздней древесины свидетельствует о том, что ТИБ на данной территории, помимо содержания влаги, характеризует плодородие почв, т. е. в зависимости от водного режима (проточного или застойного) изменяется кислотность и характер выноса подвижных химических элементов (например, К и Р), а также гранулометрический состав почв. Наибольшее значение ТИБ выявлено для сосняка черничного (ПП 1, 2, см. табл. 2). В данном случае это самый продуктивный тип леса. ТИБ позволяет выделять и типы условий местопроизрастания. В доказательство изложенного говорят исследования финских коллег, которые установили значимую корреляцию ТИБ с увеличением мощности и повышением рН горизонта A_0 [38].

Выводы

Мезорельеф оказывает значительное влияние на процесс формирования анатомического строения древесины сосны в подзоне средней тайги. Наибольшее влияние на процесс формирования толщины стенок трахеид ранней древесины оказывают экспозиция, ФАР и анизотропное распределение суточного тепла оказывают; а на толщину стенок трахеид поздней древесины топографический индекс влажности и профильная кривизна. Отсутствие значимого влияния мезорельефа и макроструктуры древесины сосны объясняется невысоким уклоном местности (<2°), и слабой кривизной поверхности.

Исследования проведены в рамках государственного задания № 122011300380-5 Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова Уральского отделения Российской академии наук.

Список литературы

- [1] Орлов А.Я., Кошельков С.П., Осипов В.В., Соколов А.А. Типы лесных биогеоценозов южной тайги. М.: Наука, 1974. 232 с.
- [2] Burnett M., August P., Brown J., Killingbeck K.T. The influence of geomorphological heterogeneity on biodiversity. I. A patch-scale perspective // *Conservation Biology*, 1998, v. 12, pp. 363–370.
- [3] Giesler R., Högborg M., Högborg P. Soil chemistry and plant in Fennoscandian boreal forest as exemplified by a local gradient // *Ecology*, 1998, 79, pp. 119–137. DOI: 10.2307/176869
- [4] Беляев В.В., Бурлаков П.С. Особенности распространения высокопродуктивных хвойных лесов в таежных ландшафтах Европейского Севера // *Вестник Поморского университета*. Серия: Естественные и точные науки, 2006. № 1. С. 49–53.
- [5] Zinko U., Seibert J., Dynesius M., Nilsson C. Plant Species Numbers Predicted by a Topography-based Groundwater Flow Index // *Ecosystems*, 2005, v. 8, pp. 430–441.

- [6] Феклистов П.А., Евдокимов В.Н., Барзут В.М. Биологические и экологические особенности роста сосны в северной подзоне европейской тайги. Архангельск: Изд-во АГТУ, 1997. 140 с.
- [7] Hughes M.K., Olchev A., Bunn A.G., Berner L.T., Losleben M., Novenko E. Different climate responses of spruce and pine growth in Northern European Russia // *Dendrochronologia*, 2019, v. 56, p. 125601.
- [8] Hellmann L., Agafonov L., Ljungqvist F.C., Churakova O., Duthorn E., Esper J., Hülsmann L., Kirilyanov A.V., Moiseev P., Myglan V.S., Nikolaev A.N., Reining F., Schweingruber F.H., Solomina O., Tegel W., Büntgen U. Diverse growth trends and climate responses across Eurasia's boreal forest // *Environmental Research Letters*, 2016, v. 11, p. 074021.
- [9] Lindholm M., Lehtonen H., Kolström T., Meriläinen J., Eronen M., Timonen M. Climatic signals extracted from ring-width chronologies of Scots pines from the northern, middle and southern parts of the boreal forest belt in Finland // *Silva Fennica*, 2000, v. 34, p. 317–330.
- [10] Seo J.W., Eckstein D., Jalkanen R., Schmitt U. Climatic control of intra- and inter-annual wood-formation dynamics of Scots pine in northern Finland // *Environmental and Experimental Botany*, 2011, v. 72, pp. 422–431.
- [11] Скомаркова М.В., Ваганов Е.А., Вирт К., Кирдянов А.В. Климатическая обусловленность радиального прироста хвойных и лиственных пород деревьев в подзоне средней тайги Центральной Сибири // *География и природные ресурсы*, 2009. № 2. С. 80–85.
- [12] Lopatin E., Kolström T., Spiecker H. Impact of climate change on radial growth of Siberian spruce and Scots pine in North-western Russia // *iForest*, 2008, v.1, pp. 13–21.
- [13] Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. М.: Астрель, 2000, 1999. 768 с.
- [14] Hengl T., Reuter H.I. (eds). *Geomorphometry: Concepts, Software, Applications* // *Developments in Soil Science*, 2008, v. 33, Elsevier, 772 p.
- [15] Флоринский И.В. Теория и приложения математико-картографического моделирования рельефа: дис. ... д-ра техн. наук. Пуцзино: ИМПБ РАН, 2010. 267 с.
- [16] Rinn F. *TSAP-Win – time series analysis and presentation: dendrochronology and related applications*. Heidelberg, Germany, 2003, 91 p.
- [17] Яценко-Хмельевский А.А. Основы и методы анатомического исследования древесины. Л.: Изд-во Академии наук СССР, 1954. 337 с.
- [18] Минеев А.Л., Полякова Е.В., Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б. Методические аспекты создания цифровой модели рельефа Архангельской области на основе ASTER GDEM V. 2 // *Современные проблемы науки и образования*, 2015. № 2. URL: www.science-education.ru/129-21949 (дата обращения 06.03.2023).
- [19] Мелехова Т.А. Формирование годичного слоя сосны в связи с лесорастительными условиями // *Труды Архангельского ордена трудового Красного Знамени лесотехнического института им. В.В. Куйбышева*, 1954. Т. XIV. С. 123–139.
- [20] Коперин Ф.И. Зависимость строения и физико-механических свойств древесины хвойных пород от лесорастительных условий // *Труды Архангельского лесотехнического института*, 1955. Т. XVI. С. 156–168.
- [21] Вихров В.Е., Лобасенок А.К. Технические свойства древесины в связи с типами леса. Минск: Мин-во высшего образования БССР, 1963. 72 с.
- [22] Karlman L., Morling T., Martinsson O. Wood density, annual ring width and latewood content in larch and Scots pine // *Eurasian J. of Forest Research*, 2005, v. 8, pp. 91–96.
- [23] Schulze E.D., Beck E., Müller-Hohenstein K. *Plant ecology*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2005, 702 p.
- [24] Schulze E.D., Mooney H.A. *Biodiversity and ecosystem function*. Springer Science & Business Media, Berlin, Heidelberg, 2012, 525 p.
- [25] Данилов Н.И. Влияние насаждений различного состава и рубок ухода на температурный режим почвы // *Лесное хозяйство*, 1986. № 8. С. 18–22.
- [26] Kirchhefer A.J. The influence of slope aspect on tree-ring growth of *Pinus sylvestris* L. in northern Norway and its implications for climate reconstruction // *Dendrochronology*, 2000, v.18, pp. 27–40
- [27] Cai Q., Liu Y. Climatic response of three tree species growing at different elevations in the Luliang Mountains of Northern China // *Dendrochronology*, 2013, v. 31, pp. 311–317.
DOI: 10.1016/j.dendro.2012.07.003
- [28] Zhang W., Jiang Y., Wang M., Zhang L., Dong M. Topography- and species-dependent climatic responses in radial growth of *Picea meyeri* and *Larix principis-rupprechtii* in the Luyashan Mountains of North-Central China // *Forests*, 2015, v. 6, iss. 1, pp. 116–132.
DOI: 10.3390/f6010116
- [29] Montpellier E.E., Soulé P.T., Knapp P.A., Shelly J.S. Divergent growth rates of alpine larch trees (*Larix lyallii* Parl.) in response to microenvironmental variability // *Arctic Antarctic and Alpine Research*, 2018, v. 50, iss 1, e1415626. DOI: 10.1080/15230430.2017.1415626
- [30] Deng S.F., Yang T.B., Zeng B., Zhu X.F., Xu H.J. Vegetation cover variation in the Qilian Mountains and its response to climate change in 2000–2011 // *J. of Mountain Science*, 2013, v. 10, iss 6, pp. 1050–1062.
DOI: 10.1007/s11629-013-2558-z
- [31] Tognetti R., Palombo C. Take a tree to the limit: the stress line // *Tree Physiol.*, 2013, v. 33, iss 9, pp. 887–890.
DOI:10.1093/treephys/tp087
- [32] Wypych A., Ustrnul Z., Schmatz D.R. Long-term variability of air temperature and precipitation conditions in the Polish Carpathians // *J. of Mountain Science*, 2018, v. 15, iss 2, pp. 237–253. DOI: 10.1007/s11629-017-4374-3
- [33] Chen J., Saunders S.C., Crow T.R., Naiman R.J., Brosofske K.D., Mroz G.D., Brookshire, B.L., Franklin, J.F. Microclimate in forest ecosystem and landscape ecology: variations in local climate can be used to monitor and compare the effects of different management regimes // *BioScience*, 1999, v. 49, iss. 4, pp. 288–297.
DOI: 10.2307/1313612
- [34] Kirkham M.B. *Principles of soil and plant water relations*. Boston: Elsevier Academic Press, 2014, 598 p.
- [35] Jenny H. *Factors of Soil Formation: A System of Quantitative Pedology*. New York: McGraw Hill, 1941, 281 p.
- [36] McCree K.J. The action spectrum, absorptance and quantum yield of photosynthesis in crop plants // *Agricultural Meteorology*, 1971, v. 9, pp. 191–216.
DOI: 10.1016/0002-1571(71)90022-7
- [37] Тооминг Х.Г. Солнечная радиация и формирование урожая. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 200 с.
- [38] Seibert J., Stendahl J., Sørensen R. Topographical Influences on Soil Properties in Boreal Forests // *Geoderma*, 2007, v. 141, pp. 139–148.
DOI: 10.1016/j.geoderma.2007.05.013

Сведения об авторах

Неверов Николай Александрович  — канд. с.-х. наук, ст. науч. сотр. лаборатории глубинного геологического строения и динамики литосферы, ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской Академии наук», na-neverov@yandex.ru

Кутинов Юрий Григорьевич — д-р г.-м. наук, гл. науч. сотр. лаборатории глубинного геологического строения и динамики литосферы, ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской Академии наук», kutinov@fciactic.ru

Чистова Зинаида Борисовна — канд. г.-м. наук, вед. науч. сотр. лаборатории глубинного геологического строения и динамики литосферы, ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской Академии наук», zchistova@yandex.ru

Полякова Елена Викторовна — д-р г.-м. наук, вед. науч. сотр. лаборатории глубинного геологического строения и динамики литосферы, ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской Академии наук», lenpo26@yandex.ru

Минеев Александр Леонидович — канд. г.-м. наук, ст. науч. сотр. лаборатории глубинного геологического строения и динамики литосферы, ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика им. Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской Академии наук», mineew.al@gmail.com

Поступила в редакцию 11.04.2023.

Одобрено после рецензирования 28.04.2023.

Принята к публикации 01.12.2023.

MESORELIEF INFLUENCE ON PINE WOOD STRUCTURE FORMATION IN MIDDLE TAIGA

N.A. Neverov , Yu.G. Kutinov, Z.B. Chistova, E.V. Polyakova, A.L. Mineev

N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 12, Nikolsky av., 163012, Arkhangelsk, Russia

na-neverov@yandex.ru

This article presents the data showing the relief influence on the pine trees growth in the even territories of the European part of Russia. The research was carried out in the middle taiga subzone, in the Ustyansky district of the Arkhangelsk region. Natural pine stands were studied in typical conditions of the growth place (blueberry, cowberry, sphagnum forest types). Cores of wood were taken from 30 pieces at each sample area. They were used to determine the annual ring width, the latewood content, the tracheids walls thickness of early and latewood. Morphometric parameters of the relief were calculated on the basis of a digital relief model in SAGA GIS. Relief indicators vary slightly between test areas. To identify the relationships, 7 parameters were selected: slope, aspect, profile curvature, topographic wetness index (TWI), LS factor, photosynthetically active radiation (PAR), diurnal anisotropic heating (DAH). A high inverse correlation of the wall thickness of early pine wood tracheids with aspect, PAR and DAH ($-0,81 \dots -0,89$) was revealed, a high direct correlation was established between the wall thickness of late tracheids with a TWI and profile curvature, which indicates a significant redistribution of heat and moisture by the plain relief. The absence of statistically significant links between relief and macrostructural elements of pine wood is most likely caused by the weak severity of the relief. The even relief in the middle taiga zone plays a certain role in the formation of anatomical elements of pine wood.

Keywords: pine, mesorelief, radial growth, wood anatomy, topographic humidity index, photosynthetically active radiation, anisotropic distribution of daily heat, angle of inclination, exposure

Suggested citation: Neverov N.A., Kutinov Yu.G., Chistova Z.B., Polyakova E.V., Mineev A.L. *Znachenie mezorel'efa v formirovanii struktury drevesiny sosny v podzone sredney taygi* [Mesorelief influence on pine wood structure formation in middle taiga]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2024, vol. 28, no. 1, pp. 121–129. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-1-121-129

Reference

- [1] Orlov A.Ya., Koshel'kov S.P., Osipov V.V., Sokolov A.A. *Tipy lesnykh biogeotsenozov yuzhnoy taygi* [Types of forest biogeocenoses of the southern taiga]. Moscow: Nauka, 1974, 232 p.

- [2] Burnett M., August P., Brown J., Killingbeck K.T. The influence of geomorphological heterogeneity on biodiversity. I. A patch-scale perspective. *Conservation Biology*, 1998, v. 12, pp. 363–370.
- [3] Giesler R., Högberg M., Högberg P. Soil chemistry and plant in Fennoscandian boreal forest as exemplified by a local gradient. *Ecology*, 1998, 79, pp. 119–137. DOI: 10.2307/176869
- [4] Belyaev V.V., Burlakov P.S. *Osobennosti rasprostraneniya vysokoproduktivnykh khvoynykh lesov v taezhnykh landshaftakh Evropeyskogo Severa* [Spatial distribution peculiarities of high productive coniferous forests in the taiga landscapes of the European North]. *Vestnik Pomorskogo universiteta. Seriya: Estestvennye i tochnye nauki* [Bulletin of the Pomeranian University. Series: Natural and Exact Sciences], 2006, no. 1, pp. 49–53.
- [5] Zinko U., Seibert J., Dynesius M., Nilsson C. Plant Species Numbers Predicted by a Topography-based Groundwater Flow Index. *Ecosystems*, 2005, v. 8, pp. 430–441.
- [6] Feklistov P.A., Evdokimov V.N., Barzut V.M. *Biologicheskie i ekologicheskie osobennosti rosta sosny v severnoy podzone evropeyskoy taygi* [Biological and ecological features of pine growth in the northern subzone of the European taiga]. *Arkhangelsk: AGTU*, 1997, 140 p.
- [7] Hughes M.K., Olchev A., Bunn A.G., Berner L.T., Losleben M., Novenko E. Different climate responses of spruce and pine growth in Northern European Russia. *Dendrochronologia*, 2019, v. 56, p. 125601.
- [8] Hellmann L., Agafonov L., Ljungqvist F.C., Churakova O., Duthorn E., Esper J., Hülsmann L., Kirilyanov A.V., Moiseev P., Mygland V.S., Nikolaev A.N., Reining F., Schweingruber F.H., Solomina O., Tegel W., Büntgen U. Diverse growth trends and climate responses across Eurasia's boreal forest. *Environmental Research Letters*, 2016, v. 11, p. 074021.
- [9] Lindholm M., Lehtonen H., Kolström T., Meriläinen J., Eronen M., Timonen M. Climatic signals extracted from ring-width chronologies of Scots pines from the northern, middle and southern parts of the boreal forest belt in Finland. *Silva Fennica*, 2000, v. 34, pp. 317–330.
- [10] Seo J.W., Eckstein D., Jalkanen R., Schmitt U. Climatic control of intra- and inter-annual wood-formation dynamics of Scots pine in northern Finland. *Environmental and Experimental Botany*, 2011, v. 72, pp. 422–431.
- [11] Skomarkova M.V., Vaganov E.A., Virt K., Kirilyanov A.V. *Klimaticheskaya obuslovlennost' radial'nogo prirosta khvoynykh i listvennykh porod derev'ev v podzone sredney taygi Tsentral'noy Sibiri* [Climatic Conditionality of Radial Increment of Conifers and Hardwoods in the Middle Taiga Subzone of Central Siberia]. *Geografiya i prirodnye resursy* [Geography and Natural Resources], 2009, no. 2, pp. 80–85. DOI: 10.1016/j.gnr.2009.06.014
- [12] Lopatin E., Kolström T., Spiecker H. Impact of climate change on radial growth of Siberian spruce and Scots pine in North-western Russia. *iForest*, 2008, v.1, pp. 13–21.
- [13] Perel'man A.I., Kasimov N.S. *Geokhimiya landshafta* [Geochemistry of landscape]. Moscow: Astraea-2000, 1999, 768 p.
- [14] Hengl T., Reuter H.I. (eds). *Geomorphometry: Concepts, Software, Applications. Developments in Soil Science*, 2008, v. 33, Elsevier, 772 p.
- [15] Florinskiy I.V. *Teoriya i prilozheniya matematiko-kartograficheskogo modelirovaniya rel'efa* [Theory and applications of mathematical and cartographic modeling of relief]. Diss. Dr. Sci. (Tech.). Pushchino: Moscow State University of Geodesy and Cartography, 2010, 267 p.
- [16] Rinn F. *TSAP-Win – time series analysis and presentation: dendrochronology and related applications*. Heidelberg, Germany, 2003, 91 p.
- [17] Yatsenko-Khmelevskiy A.A. *Osnovy i metody anatomicheskogo issledovaniya drevesiny* [Fundamentals and methods of anatomical study of wood]. Leningrad: Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR, 1954, 337 p.
- [18] Mineev A.L., Polyakova E.V., Kutinov Yu.G., Chistova Z.B. *Metodicheskie aspekty sozdaniya tsifrovoy modeli rel'efa Arkhangel'skoy oblasti na osnove ASTER GDEM* [Methodological aspects of creating a digital relief model of the Arkhangelsk region based on ASTER GDEM]. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education], 2015, v. 2. Available at: www.science-education.ru/129-21949 (accessed 02.03.2023)
- [19] Melekhova T.A. *Formirovaniye godichnogo sloya sosny v svyazi s lesorastitel'nymi usloviyami* [Formation of the annual layer of pine in connection with forest-growing conditions]. *Trudy Arkhangel'skogo ordena trudovogo Krasnogo Znameni lesotekhnicheskogo instituta im. V.V. Kuybysheva* [Proceedings of the Arkhangelsk Order of the Red Banner of Labor of the V.V. Kuibyshev Forestry Institute], 1954, v. XIV, pp. 123–139.
- [20] Koperin F.I. *Zavisimost' stroeniya i fiziko-mekhanicheskikh svoystv drevesiny khvoynykh porod ot lesorastitel'nykh usloviy* [Dependence of the structure and physico-mechanical properties of coniferous wood on forest growing conditions]. *Trudy Arkhangel'skogo lesotekhnicheskogo instituta* [Proceedings of the Arkhangelsk Forestry Institute], 1955, t. XVI, pp. 156–168.
- [21] Vikhrov V.E., Lobasenok A.K. *Tekhnicheskie svoystva drevesiny v svyazi s tipami lesa* [Technical properties of wood in connection with forest types]. Minsk: Min-vo vysshego obrazovaniya BSSR [Publishing House of the Ministry of Higher Education of the BSSR], 1963, 72 p.
- [22] Karlman L., Morling T., Martinsson O. Wood density, annual ring width and latewood content in larch and Scots pine. *Eurasian J. of Forest Research*, 2005, v. 8, pp. 91–96.
- [23] Schulze E.D., Beck E., Müller-Hohenstein K. *Plant ecology*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2005, 702 p.
- [24] Schulze E.D., Mooney H.A. *Biodiversity and ecosystem function*. Springer Science & Business Media, Berlin, Heidelberg, 2012, 525 p.
- [25] Danilov N.I. *Vliyaniye nasazhdeniy razlichnogo sostava i rubok ukhoda na temperaturnyy rezhim pochvy* [The influence of plantings of various composition and logging care on the temperature regime of the soil]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry], 1986, v. 8, pp. 18–22.
- [26] Kirchhefer A.J. The influence of slope aspect on tree-ring growth of *Pinus sylvestris* L. in northern Norway and its implications for climate reconstruction. *Dendrochronology*, 2000, v.18, pp. 27–40
- [27] Cai Q., Liu Y. Climatic response of three tree species growing at different elevations in the Luliang Mountains of Northern China. *Dendrochronology*, 2013, v. 31, pp. 311–317. DOI: 10.1016/j.dendro.2012.07.003
- [28] Zhang W., Jiang Y., Wang M., Zhang L., Dong M. Topography- and species-dependent climatic responses in radial growth of *Picea meyeri* and *Larix principis-rupprechtii* in the Luyashan Mountains of North-Central China. *Forests*, 2015, v. 6, iss. 1, pp. 116–132. DOI: 10.3390/f6010116

- [29] Montpellier E.E., Soulé P.T., Knapp P.A., Shelly J.S. Divergent growth rates of alpine larch trees (*Larix lyallii* Parl.) in response to microenvironmental variability. *Arctic Antarctic and Alpine Research*, 2018, v. 50, iss 1, e1415626. DOI: 10.1080/15230430.2017.1415626
- [30] Deng S.F., Yang T.B., Zeng B., Zhu X.F., Xu H.J. Vegetation cover variation in the Qilian Mountains and its response to climate change in 2000–2011. *J. of Mountain Science*, 2013, v. 10, iss 6, pp. 1050–1062. DOI: 10.1007/s11629-013-2558-z
- [31] Tognetti R., Palombo C. Take a tree to the limit: the stress line. *Tree Physiol.*, 2013, v. 33, iss 9, pp. 887–890. DOI: 10.1093/treephys/tpt087
- [32] Wypych A., Ustrnul Z., Schmatz D.R. Long-term variability of air temperature and precipitation conditions in the Polish Carpathians. *J. of Mountain Science*, 2018, v. 15, iss 2, pp. 237–253. DOI: 10.1007/s11629-017-4374-3
- [33] Chen J., Saunders S.C., Crow T.R., Naiman R.J., Brosofske K.D., Mroz G.D., Brookshire, B.L., Franklin, J.F. Microclimate in forest ecosystem and landscape ecology: variations in local climate can be used to monitor and compare the effects of different management regimes. *BioScience*, 1999, v. 49, iss. 4, pp. 288–297. DOI: 10.2307/1313612
- [34] Kirkham M.B. Principles of soil and plant water relations. Boston: Elsevier Academic Press, 2014, 598 p.
- [35] Jenny H. Factors of Soil Formation: A System of Quantitative Pedology. New York: McGraw Hill, 1941, 281 p.
- [36] McCree K.J. The action spectrum, absorptance and quantum yield of photosynthesis in crop plants. *Agricultural Meteorology*, 1971, v. 9, pp. 191–216. DOI: 10.1016/0002-1571(71)90022-7
- [37] Tooming Kh.G. *Solnechnaya radiatsiya i formirovanie uroznya* [Solar radiation and crop formation]. Leningrad: Hydrometeoizdat, 1977, 200 p.
- [38] Seibert J., Stendahl J., Sørensen R. Topographical Influences on Soil Properties in Boreal Forests. *Geoderma*, 2007, v. 141, pp. 139–148. DOI: 10.1016/j.geoderma.2007.05.013

The research was carried out within the framework of state assignment No. 122011300380-5 of the Federal Research Centre for Integrated Arctic Studies named after Academician N.P. Laverov of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences.

Authors' information

Neverov Nikolay Aleksandrovich ✉ — Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher at the Laboratory of Deep Geological Structure and Dynamics of the Lithosphere of the Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, na-neverov@yandex.ru

Kutinov Yuriy Grigor'evich — Dr. Sci. (Geological and mineralogical), Chief Researcher of the Laboratory of Deep Geological Structure and Dynamics of the Lithosphere of the Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, kutinov@fciactic.ru

Chistova Zinaida Borisovna — Cand. Sci. (Geological and mineralogical), Leading Researcher at the Laboratory of Deep Geological Structure and Dynamics of the Lithosphere of the Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, zchistova@yandex.ru

Polyakova Elena Viktorovna — Dr. Sci. (Geological and mineralogical), Leading Researcher at the Laboratory of Deep Geological Structure and Dynamics of the Lithosphere of the Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, lenpo26@yandex.ru

Mineev Aleksandr Leonidovich — Cand. Sci. (Geological and mineralogical), Senior Researcher at the Laboratory of Deep Geological Structure and Dynamics of the Lithosphere of the Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, mineew.al@gmail.com

Received 11.04.2023.

Approved after review 28.04.2023.

Accepted for publication 01.12.2023.

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

ЭПИЛАМИРОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ В УСЛОВИЯХ МЕХАНОХИМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

О.П. Прошина¹, А.Н. Иванкин²✉

¹ФГБОУ ВО «Академия Государственной противопожарной службы МЧС России», Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, д. 4, стр. 2

²ФГБОУ 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

aivankin@inbox.ru

Рассмотрены проблемы инновационных технологий модификации поверхностей трения, в частности ободурования, материалов, трущихся деталей и узлов с помощью смазочных масел на основе перфторированных олигомеров и масел растительного происхождения. Изучено влияние многофункциональных смазочных композиций на основе фторсодержащего полипропиленоксидного продукта марки 6СФК-180-05 и экспериментального эпилама «Трибоконтрата» на трибологические характеристики работы смазочной системы на основе рапсового и таллового масел. Исследовано влияние концентрации эпилама, величины механической нагрузки и времени на противоизносные свойства композиции растительного масла и фторированной добавки. Показано, что наибольшими противоизносными свойствами обладают масляные композиции на основе рапсового масла в присутствии 2–3 % перфторированного эпилама. Показано, что интенсивность износа, оцениваемая в процессе испытаний на четырех шариковой машине трения с силовой нагрузкой в 50–350 Н в присутствии эпиламирующих композиций, была приемлемой для обеспечения работоспособности механического устройства, а противоизносные свойства масляных композиций на основе растительного сырья, зависели как от свойств применяемого эпиламирующего состава, так и от характера распределения величин механических нагрузок в процессе испытаний двух марок эпиламов. Отмечено, что положительным фактором использования технологии применения фторсодержащих эпиламов в составе смазочных смесей является наблюдавшееся увеличение вязкости рабочей композиции по сравнению с исходными маслами. Полученные результаты представляют интерес для разработки методологии длительной эксплуатации механических устройств и повышения их износостойкости в условиях механохимических воздействий.

Ключевые слова: эпиламирование, эпилам, рапсовое масло, талловое масло, эксплуатационные свойства, износостойкость, трибологические характеристики

Ссылка для цитирования: Прошина О.П., Иванкин А.Н. Эпиламирование механических устройств для повышения износостойкости в условиях механохимического воздействия // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2024. Т. 28. № 1. С. 130–138. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-1-130-138

Процесс трения при работе механических устройств обуславливает их износ, вызывающий постепенное срабатывание конструкционного материала. При длительном воздействии это приводит механическую систему в состояние непригодности. Для увеличения срока службы деталей машин и механизмов используют различные подходы, связанные с изменением размеров, формы, массы испытывающих трение деталей, а также осуществляют модификацию поверхности [1, 2].

Основным процессом, приводящим к выходу из строя машин и механизмов при эксплуатации, является трение. Для уменьшения износа трущихся деталей применяются разнообразные смазочные композиции. Введение минерального масла и разнообразных присадок в определенных концентрациях позволяет существенно изменять условия работы механической системы, а дол-

говечность сохранения смазки на поверхностях трущихся деталей дает возможность увеличивать срок службы механической системы. В современном машиностроении применяют различные смазочные масла, в которые добавляют в качестве противоизносных компонентов порошки диспергированных металлов, оксидов, графита, сульфидов металлов переменной валентности и полимерные частицы [3–5].

Граничное трение возникает на поверхности контактирующих деталей при толщине слоя смазки менее 0,1 мкм. В этом случае сила трения зависит от природы и состояния трущихся поверхностей. Наличие граничного слоя приводит к уменьшению сил трения при внесении смазочного материала более чем в 10 раз и уменьшает износ механизма в сотни раз. Граничное трение вариабельно и определяет предел работоспособности механического узла. В таком режиме поверхности трения, как правило, не разделены

полностью слоем смазки, и непосредственный контакт рабочих элементов узла приводит к резкому росту энергоемкости и ускоренному изнашиванию трущихся поверхностей [6–8].

Альтернативой широко применяемому сегодня способу снижения граничного трения за счет наличия минеральных масел является использование термостойких полимерных материалов на основе фторсодержащих соединений.

Одним из таких инновационных направлений развития трибологических технологий для модификации поверхностей является эпиламирование. Эпиламированием называют процесс нанесения защитной многофункциональной пленки на основе фторсодержащих поверхностно-активных веществ (ПАВ), которые наносятся на изделия, оборудование, материалы, любые трущиеся детали и узлы машин и механизмов. При этом на них образуется тончайшая наноразмерная пленка толщиной в 40...100 нм. Технологии эпиламирования относятся к области нанотехнологий в машиностроении.

Растворы фторсодержащих ПАВ называют эпилами. При нанесении фторированных ПАВ, а также некоторых других природных полимеров на поверхности трущихся деталей образуются классические пленки по типу Ленгмюра — Блоджетт [9, 10].

Эпиламирование — один из наиболее эффективных способов комплексной защиты поверхностного слоя деталей машин и улучшения таких характеристик поверхностей, как сопротивление усталости, антифрикционность, адгезионная стойкость, износостойкость, коррозионная стойкость. Особый интерес может представлять развитие данного направления в условиях использования биомасел и различных видов моторного топлива, получаемого из природного сырья [11–13].

Эпиламирование применяют к различным материалам и изделиям, прежде всего к трущимся деталям машин и инструментов — подшипникам, валам, полотнам пил в машинах лесного комплекса, деталям прецизионных узлов трения в точных приборах. Эпилами обрабатывают как металлические, так и неметаллические поверхности [6, 10]. Эпиламирование позволяет существенно улучшить динамические показатели различных трибологических систем, в частности подшипников станков и режущего инструмента.

Суть эпиламирования заключается в обработке твердых трущихся поверхностей различными ПАВ. Фторсодержащие соединения, известные своей термостойкостью, являются в этом отношении достаточно перспективными объектами [14, 15].

Процесс эпиламирования относится к физико-химическим методам повышения износостойкости и имеет некоторые преимущества по срав-

нению с другими технологиями. Препараты для эпиламирования изначально были предназначены для использования в космической и специальной технике, но со временем стали применяться и в других отраслях [16, 17].

Важным преимуществом эпиламирования является сохранение структуры обрабатываемой твердой поверхности без изменений в условиях ее простой модификации с приданием поверхностям антифрикционных, гидрофобных, защитных и других полезных свойств [10, 13].

Практически неизменными остаются геометрические размеры обрабатываемых деталей, поскольку толщина защитного слоя обычно не превышает 100 нм. В машиностроении применяются многофункциональные тонкопленочные покрытия на основе фторсодержащих полимеров и олигомеров. Олигомерные покрытия получают из растворов фторсодержащих соединений. Выпускаемые промышленностью составы «Эпилам», «Фолеокс» применяют в качестве антиадгезионных сред, триботехнических покрытий, гидрофобных слоев в парах трения различных конструкторских решений [5].

Эпиламы представляют собой многокомпонентные системы, содержащие фторорганические ПАВ в различных растворителях и регулирующие добавки. В настоящее время отечественная промышленность производит эпиламы различных составов. В частности, известен специальный противозносный препарат марки «Forum», содержащий поверхностно-активный олигомер со структурой, аналогичной полимеру фторопласт-4 с химической формулой $(C_2F_4)_n(COF)_2$, где $n = 100...1000$. Препарат был разработан в Институте химии ДВО РАН. К достоинствам данного препарата можно отнести его невысокую стоимость по сравнению с западными аналогами.

Используются также препараты «Аспект-модификатор» на основе перфторпропиленоксида молекулярной массы 2500...9000, формулы: $CF_3CF_2O[CF(CF_3)CF_2O]_nCF(CF_3)OCF_2CF_3$, где $n = 15...55$.

Для повышения параметров триботехнических характеристик используют фторсодержащие олигомерные составы «Фолеокс», «Эпилам», полимер-олигомерные продукты термогазодинамического синтеза (ТГД-синтеза) политетрафторэтилена (ПТФЭ), выпускаемые под торговой маркой «Forum». ПТФЭ является одним из наиболее термохимически стойких полимерных материалов.

Олигомеры «Фолеокс» («Эпилам») представляют собой 1–2%-ю суспензию активного макрокомплекса во фреоне с молекулярной массой 2200...5000, условной формулой $R_f - R_1$, где R_f — фторсодержащий радикал, R_1 — функциональная группа типа: $-OH$, $-COOH$, $-NH_2$, $-CF_3$.

Такие препараты обычно применяют в виде 2–10%-й эмульсии с минеральными маслами. Значительное улучшение свойств поверхности обеспечивается при толщине пленки в 50...100 нм. При этом способность покрытия удерживать на обработанной поверхности смазку исключает «сухое» трение и снижает износ металлических и неметаллических контактирующих поверхностей в парах трения. После закрепления на поверхности эта пленка обладает высокими гидрофобными свойствами, хорошей химической стабильностью, высокой термической стойкостью и другими положительными качествами, в том числе способностью защитить контактирующие поверхности от окисления и истирания. Поверхность детали, модифицированная фторированным ПАВ, удерживает масло в узле сопряжения и препятствует его стеканию. При этом практически полностью прекращается испарение масла после прекращения его подачи при остановке механизма. Это — так называемый эффект «молекулярного ворса».

Технология нанесения покрытия имеет большие перспективы на производстве и может применяться практически повсеместно. Несомненный интерес представляет эпиламирование поверхностей трения пильных аппаратов лесозаготовительной техники [10]. Здесь детали работают в условиях граничного трения, испытывая масляное «голодание».

Простота технологии нанесения фторсодержащих полимерных покрытий на поверхность трения деталей позволяет осуществлять эпиламирование в условиях лесозаготовительных предприятий. Сохранение антифрикционного покрытия на поверхностях может быть дополнительно обеспечено за счет присадок, вводимых в смазочное масло.

В настоящее время ужесточаются экологические требования к топливу и смазочным материалам, используемым в сельском хозяйстве и лесном комплексе. В связи с этим ведутся разработки по получению топлива из возобновляемых источников и проводятся работы по замене видов топлива и смазок, полученных из нефтепродуктов, на материалы растительного происхождения, в качестве которых можно использовать химически модифицированное рапсовое, талловое или кукурузное масла и смазки [6, 12].

Применение таллового масла может дополнительно улучшать бактерицидные свойства смазочных составов [12, 25–28].

Для усиления эффекта смазки в системы вводят нанодиспергированные частицы с высокими адгезионными свойствами [18–20, 29, 30].

Учитывая современные тенденции сбережения природы, определенные усилия следует направлять на использование в качестве смазочных ма-

териалов вещества возобновляемого природного происхождения. Так, использование машинного масла для эффективной работы пилорезущего инструмента в лесном хозяйстве неизбежно приводит к излишнему загрязнению почвы нефтепродуктами.

Цель работы

Цель работы — оценка возможности практического применения и трибологических характеристик фторсодержащих эпиламов в составе биомасляной композиции на основе растительных масел.

Материалы и методы

В работе использовали смазочные многофункциональные композиции на основе перфторполипропиленоксида типа продукта с торговой маркой 6СФК-180-05 и экспериментальный трибоконтрат, представляющий собой суспензию фторсодержащего ПАВ в растворителе перфторметилциклогексане. Содержание фторидных ионов составляло 0,003 и 0,005 мг/г полимера соответственно.

В качестве рабочей смазки использовали рапсовое (ГОСТ 31759–2012) и талловое масло (ГОСТ 14845–79).

Для определения противозадирных и противозносных свойств масел и исследования трибологических характеристик смазочных композиций, испытания проводили на четырехшариковой машине трения типа машины Тимкена — Айшингера (рис. 1) по стандартной методике. Фиксировали размерность отпечатка повреждения и коэффициент трения [21, 31].

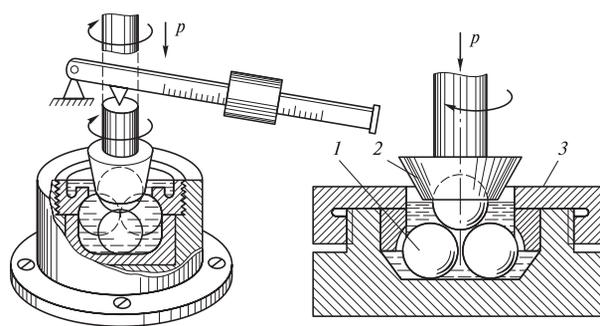


Рис. 1. Установка для исследования трибологических характеристик: 1–3 — узлы трения; p — усилие трения
Fig. 1. Installation for the study of tribological characteristics: 1–3 — friction units; p — friction force

Физико-механические характеристики сырья и материалов определяли по стандартным методикам, изложенным в ГОСТ для соответствующего вида измерений.

Статистическую обработку результатов эксперимента проводили стандартными методами.

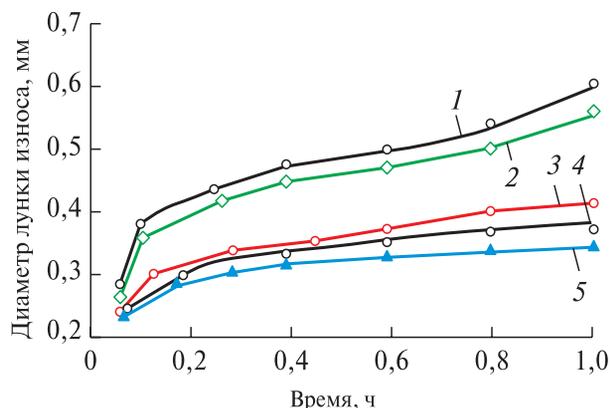


Рис. 2. Кинетические кривые противоизносных свойств масляных композиций: 1 — талловое масло; 2 — неэпиламированное рапсовое масло; 3 — эпилам трибоконцентрат в рапсовом масле; 4 — эпилам 6СФК-180-05 в талловом масле; 5 — эпилам 6СФК-180-05 в рапсовом масле

Fig. 2. Kinetic curves of antiwear properties of oil compositions: 1 — tall oil; 2 — rapeseed oil; 3 — epilam Triboconcentrate in rapeseed oil; 4 — epilam 6SFK-180-05 in tall oil; 5 — epilam 6SFK-180-05 in rapeseed oil

Результаты и обсуждение

Использование растительных масел в качестве компонентов смазочных композиций позволило оценить эффект влияния добавок эпиламов на характер механического износа в режиме механохимического воздействия. Дешевое рапсовое масло широко используется для производства биодизеля, а талловое масло является крупнотоннажным отходом целлюлозно-бумажной промышленности [22–24, 32, 33].

Результаты сравнительных испытаний смазочных свойств композиций, представленные в виде кинетических кривых износа (рис. 2), характеризуют высокие противоизносные свойства масел, модифицированных ПАВ по сравнению с базовым маслом. Как видно из рис. 2, наибольший эффект показала модификация масла эпиламом марки 6СФК-180-05.

Данные рис. 2 позволяют сопоставить эффект эпиламирования, достигаемый путем добавления 3%-го эпилама, для различных типов растительных масел. Как видно, наибольший защитный эффект наблюдается во всех случаях при наличии эпилама, что позволяет в 2–3 раза снизить разрушающий эффект при трении. Влияние эпиламирования при использовании таллового масла дало относительно меньший эффект, по-видимому, вследствие его большей механохимической активности, связанной с химическим составом таллового масла [25, 34, 35].

Влияние концентрации эпилама 6СФК-180-05 в базовом масле на противоизносные свойства смазочной композиции в зависимости от осевой

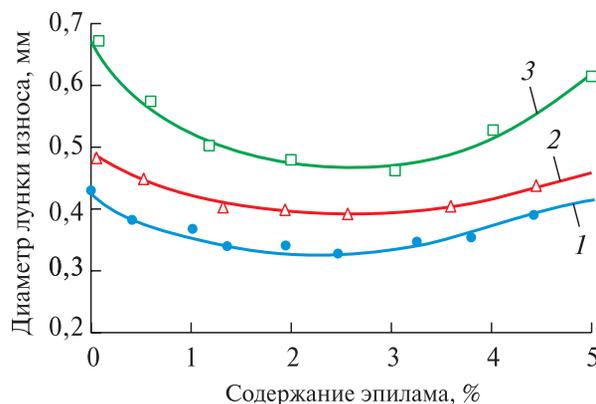


Рис. 3. Влияние концентрации эпилама на противоизносные свойства композиции на основе рапсового масла (эпилам марки 6СФК-180-05); продолжительность испытаний 60 мин: 1 — нагрузка 150 Н; 2 — 250 Н; 3 — 350 Н

Fig. 3. Effect of epilam concentration on the antiwear properties of a composition based on rapeseed oil; epilam brand 6SFK-180-05; test 60 min: 1 — load 150 N; 2 — 250 N; 3 — 350 N

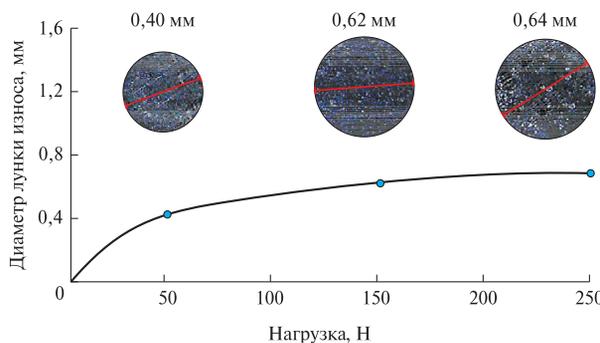


Рис. 4. Зависимость интенсивности износа от нагрузки и пятна износа шариков (эпилам марки 6СФК-180-05); продолжительность испытания 60 мин; концентрация эпилама в композиции 2 %

Fig. 4. Dependence of the wear rate on the load and wear spots of the balls; epilam brand 6SFK-180-05; test duration 60 min; the concentration of epilam in the composition is 2 %

нагрузки на шарики, полученные в испытании на четырех шариковой машине, представлено на рис. 3. Оптимальная концентрация эпилама в смазочной композиции практически не зависит от величины нагрузки и составляет порядка 2–3 %. Снижение концентрации эпилама существенно повлияло на интенсивность износа, особенно при увеличении тестовой нагрузки более 350 Н, что можно, по-видимому, объяснить уменьшением толщины антифрикционной пленки за счет разрушения молекулярного «ворса».

Зависимость интенсивности износа шариков от величины осевой нагрузки от 5 Н до 250 Н для смеси рапсового масла представлена на рис. 4. Интенсивный износ наблюдался в начальном

периоде испытаний при минимальной осевой нагрузке, что связано с высокими удельными нагрузками в пятне точечного контакта шариков, которые вызывают разрушение молекулярного слоя, и трение происходит в условиях «масляного голодания». По мере формирования пятна контакта и увеличения его активной площади уровень удельных нагрузок снижается, что приводит к изменению режима трения из области граничного трения в гидродинамическое. При этих режимах обычно наблюдается монотонное изнашивание фрикционных поверхностей [16, 19].

Наглядным подтверждением этого эффекта являются исследования по определению коэффициента трения и его зависимости от величины нагрузки. Результаты представлены на рис. 5. Коэффициент трения имел максимальное значение на начальном этапе испытаний и по мере увеличения антифрикционной пленки монотонно снижался до некоторого конечного значения.

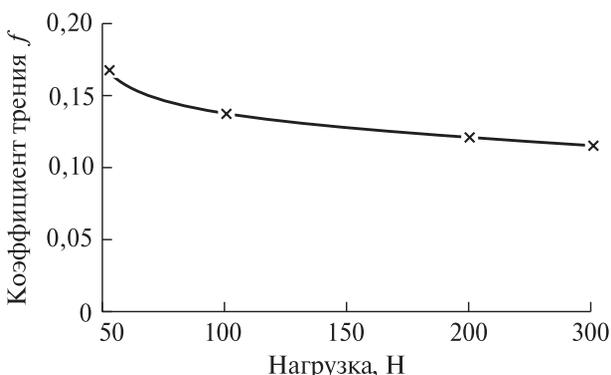


Рис. 5. Зависимость коэффициента трения от нагрузки (условия, см. рис. 4)

Fig. 5. Dependence of the friction coefficient on the load (conditions in Fig. 4)

По данным рис. 5 видно, что в случае эпиламирания смазки на основе рапсового масла значение безразмерного коэффициента трения монотонно снижается более чем в 1,5 раза при увеличении усиливающей нагрузки в 6 раз, что подтверждает целесообразность использования фторсодержащих эпиламов для повышения износостойкости работающих механизмов в условиях механохимических воздействий.

Проведенные испытания показали, что смазочная композиция, содержащая до 5 % эпилама, характеризовалась повышенной вязкостью, которая более чем в 1,3 раза превосходила вязкость исходного масла.

Выводы

На основании проведенных исследований противоизносных свойств масляных композиций на основе рапсового масла, талового масла и фторированных эпиламов, выполненных на четырехша-

риковой машине трения, было установлено, что противоизносные свойства масляной композиции на основе растительного сырья зависят как от свойств эпиламирующего состава, так и от деградирующих величин механических нагрузок, о чем свидетельствуют результаты сравнительных испытаний двух марок эпиламов.

Интенсивность изнашивания фрикционных поверхностей в значительной степени зависит от удельных нагрузок сопрягаемых деталей в зоне контакта трение — скольжение, величина которых определяется условиями работы узлов трения, шероховатостью поверхностей деталей и режимами смазки.

Дополнительным положительным фактором, способствующим применению фторированных эпиламов, позволяющих существенно увеличивать срок службы механических устройств, является наблюдаемое увеличение вязкости смазки, что делает процесс эксплуатации более удобным.

Список литературы

- [1] Choi Y.H., Lee J., Yang J. Development of a service parts recommendation system using clustering and classification of machine learning // *Expert Systems with Applications*, 2022, v. 188, no. 2, p. 116084. doi.org/10.1016/j.eswa.2021.116084
- [2] Nawrocki W., Stryjski R., Kostrzewski K., Woźniak W., Jachowicz T. Application of the vibro-acoustic signal to evaluate wear in the spindle bearings of machining centres. In-service diagnostics in the automotive industry // *J. of Manufacturing Processes*, 2023, v. 92, no. 4, pp. 165–178. doi.org/10.1016/j.jmapro.2023.02.036
- [3] Хайнике Г. Трибохимия. М.: Мир, 1987. 584 с.
- [4] Гаркунов Д.И. Триботехника, конструирование, изготовление и эксплуатация машин. М.: Изд-во МСХА, 2002. 629 с.
- [5] Бутенко В.И. Научные основы нанотрибологии. Таганрог: ТТИ ЮФУ, 2012. 275 с.
- [6] Абрамузов В.В., Котенко В.Д. Моделирование процесса резания древесных композитов на минеральных вяжущих // *Вестник МГУЛ – Лесной вестник*, 2005. № 6. С. 58–62.
- [7] Taylor R.I., Sherrington I.A. A simplified approach to the prediction of mixed and boundary friction // *Tribology International*, 2022, v. 175, no. 11, 107836. doi.org/10.1016/j.triboint.2022.107836
- [8] Atzor M., Mallor F., Pozuelo P., Fukagata K., Vinuesa R., Schlatter P. A new perspective on skin-friction contributions in adverse-pressure-gradient turbulent boundary layers // *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 2023, v. 101, no. 5, 109117. doi.org/10.1016/j.ijheatfluidflow.2023.109117
- [9] Danusso F., Levi M., Gianotti G., Turri S. Some physical properties of two homologous series of perfluoro-polyoxy-alkylene oligomers // *European Polymer Journal*, 1994, v. 30, no. 5, pp. 647–651. doi.org/10.1016/0014-3057(94)90075-2
- [10] Кононов Г.Н., Угрюмов С.А., Федотов А.А. Химическое взаимодействие древесных частиц со связующим на основе фуранового олигомера в структуре древесно-стружечных плит // *Энциклопедия инженера-химика*, 2014. № 1. С. 24–26.

- [11] Kolesnikov V.I., Pashkov D.M., Belyak O.A. Design of double layer protective coatings: Finite element modeling and machine learning approximations // *Acta Astronautica*, 2023, v. 204, no. 3, pp. 869–877. doi.org/10.1016/j.actaastro.2022.11.007
- [12] Марков В.А., Иванкин А.Н., Са Бовэнь, Доронин Д.Ю. Талловое масло как сырье для производства биодизельного топлива // *Двигателестроение*, 2022. Т. 288. № 2. С. 72–83. DOI: 10.18698/jec.2022.2.72-83
- [13] Monaca A., Murray J., Liao Z., Speidel A., Robles-Linares J.A. Surface integrity in metal machining. Part II: Functional performance // *International J. of Machine Tools and Manufacture*, 2021, v. 164, no. 5, p. 103718. doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2021.103718
- [14] Rodrigues S.P., Evaristo M., Carvalho S., Cavaleiro A. Fluorine-carbon doping of WS-based coatings deposited by reactive magnetron sputtering for low friction purposes // *Applied Surface Science*, 2018, v. 445, no. 7, pp. 575–585. doi.org/10.1016/j.apsusc.2018.03.113
- [15] Zhang T., Zhang W., Liu H., Wang G., Zhong Y., Zhou M., Zhu Q., Li H. Synthesis and characterization of a novel fluorine-containing triblock copolymer as a potential binder // *European Polymer J.*, 2021, v. 159, no. 10, 110760. doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2021.110760
- [16] Баранов А.В., Вигдорович Е.Н. Эпиламирующие покрытия инструмента // *Вестник Московского государственного университета приборостроения и информатики. Сер. Приборостроение и информационные технологии*, 2014. № 53. С. 108–115.
- [17] Ищенко С.А., Фисенко П.П., Иншаков С.В., Балабанов В.И. Экономическая эффективность от внедрения эпиламирования куттерных ножей // *Мясная индустрия*, 2014. № 4. С. 44–45.
- [18] Быков В.В., Балабанов В.И., Голубев И.Г., Голубев М.И., Окладников Л.В. Нанотехнологии и наноматериалы в лесном машиностроении и техническом сервисе. М.: Изд-во МГУЛ, 2013. 74 с.
- [19] Yang L., Huang H., Zeng H., Zhao X. Biomimetic chitosan nanoparticles with simultaneous water lubricant and anti-inflammatory // *Carbohydrate Polymers*, 2023, v. 304, no. 3, p. 120503. doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.120503
- [20] Zulhanafi P., Syahrullail S., Faizin Z.N. Tribological performance of trimethylolpropane ester bio-lubricant enhanced by graphene oxide nanoparticles and oleic acid as a surfactant // *Tribology International*, 2023, v. 183, no. 5, 108398. doi.org/10.1016/j.triboint.2023.108398
- [21] Колесников В.И. Лабораторные работы по дисциплине «Физика трения». Ростов-на-Дону: Изд-во Ростовского государственного университета путей сообщения, 2010. 40 с.
- [22] Иванкин А.Н., Неклюдов А.Д., Горбунова Н.А., Бабурина М.И., Горохов Д.Г. Биотопливо из возобновляемого сырья: перспективы производства и потребления // *Вестник МГУЛ – Лесной вестник*, 2008. № 6. С. 91–95.
- [23] Иванкин А.Н., Болдырев В.С., Жилин Ю.Н., Олиференко Г.Л., Бабурина М.И., Куликовский А.В. МакрокINETическая трансформация природных липидов для получения моторного топлива // *Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия Естественные науки*, 2017. № 5 (74). С. 95–108.
- [24] Yahya M., Dutta A., Bouri E., Wadström C., Uddin C.S. Dependence structure between the international crude oil market and the European markets of biodiesel and rapeseed oil // *Renewable Energy*, 2022, v. 197, no. 9, pp. 594–605. doi.org/10.1016/j.renene.2022.07.112
- [25] Шаталов К.В., Горюнова А.К., Лихтерова Н.М., Иванкин А.Н., Бабурина М.И., Куликовский А.В. Применение продуктов сульфатцеллюлозного производства в качестве присадок к топливам реактивных двигателей // *Вестник МГУЛ – Лесной вестник*, 2016. Т. 20. № 6. С. 107–115.
- [26] Neklyudov A.D., Fedotov G.N., Ivankin A.N. Intensification of composting processes by aerobic microorganisms // *Applied Biochemistry and Microbiology*, 2008, v. 44, no. 1, pp. 6–18.
- [27] Alkhalaf M.I., Churchill G.C., Mirghani M.E.S. Chemical composition and antioxidant/antibacterial depictions of zahidi date palm (*Phoenix dactylifera*) kernel oil // *J. of King Saud University – Science*, 2023, v. 35, no. 7, 102817. https://doi.org/10.1016/j.jksus.2023.102817
- [28] Idowu D.O., Aiyelaagbe O.O., Idowu P.A. Chemical composition and biological activities of volatile oil of the stem of *Dombeya buettneri* K. Schum. (Sterculiaceae) // *Scientific African*, 2023, v. 20, e01624. https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2023.e01624
- [29] Pesetskii S.S., Bogdanovich S.P., Myshkin N.K. Chapter 5 – Tribological behavior of polymer nanocomposites produced by dispersion of nanofillers in molten thermoplastics // *Tribology of Polymeric Nanocomposite. Friction and Wear of Bulk Materials and Coatings*, 2013, pp. 119–162. https://doi.org/10.1016/B978-0-444-59455-6.00005-2
- [30] Slobodyan M., Pesterev E., Markov A. Recent advances and outstanding challenges for implementation of high entropy alloys as structural materials // *Materials Today Communications*, 2023, v. 36, 106422. https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2023.106422
- [31] Torres A., Amini C., Cuadrado N., Travieso-Rodriguez J.A., Llumà J., Vilaseca M. Experimental validation of ball burnishing numerical simulation on ball-end milled martensitic stainless-steel considering friction and the initial surface topography // *J. of Materials Research and Technology*, 2023, v. 22, no. 1-2, pp. 3352–3361. https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.12.100
- [32] Del Rio D.D.F., Sovacool B.K., Griffiths S., Bazilian M., Kim J., Foley A.M., Rooney D. Decarbonizing the pulp and paper industry // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2022, v. 167, no. 10, 112706. https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112706
- [33] Aro T., Fatehi P. Tall oil production from black liquor: Challenges and opportunities // *Separation and Purification Technology*, 2017, v. 175, no. 3, pp. 469–480. https://doi.org/10.1016/j.seppur.2016.10.027
- [34] Collins A.M. Chapter 4 – Chemical Techniques. *Nanotechnology Cookbook*. N.Y.: Elsevier Science, 2012, pp. 35–204. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-097172-8.00004-7
- [35] Hanus M.J., Harris A.T. Nanotechnology innovations for the construction industry // *Progress in Materials Science*, 2013, v. 58, no. 7, pp. 1056–1102. https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2013.04.001

Сведения об авторах

Прошина Ольга Петровна — канд. хим. наук., доцент кафедры общей и специальной химии ФГБОУ ВО «Академия Государственной противопожарной службы МЧС России», proshina-olga@inbox.ru

Иванкин Андрей Николаевич [✉] — д-р хим. наук, академик МАН ВШ, профессор кафедры химии и химических технологий лесного комплекса, ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (Мытищинский филиал), aivankin@mgul.ac.ru

Поступила в редакцию 17.04.2023.

Одобрено после рецензирования 02.10.2023.

Принята к публикации 15.12.2023.

EPILAMIZATION OF MECHANICAL DEVICES TO INCREASE WEAR RESISTANCE UNDER MECHANOCHEMICAL IMPACT

O.P. Proshina¹, A.N. Ivankin² [✉]

¹Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 4, build. 2, Boris Galushkin st., 129366, Moscow, Russia

²BMSTU (Mytishchi branch), 1 st. Institutskaya, 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

aivankin@inbox.ru

The innovative technologies to modify friction surfaces are considered. It is shown that epilamization, as a process of applying a protective multifunctional film on equipment, materials, friction parts and products components, includes the effective use of not only traditional lubricating oils based on petroleum products, but also compositions based on perfluorinated oligomers and oils of vegetable origin. The effect of multifunctional lubricating compositions based on a fluorine-containing polypropylene oxide product of the brand 6SFK-180-05 and experimental epilam Triboconcentrate on the tribological characteristics of the lubrication system based on rapeseed and tall oil has been studied. The effect of epilam concentration, mechanical load and time on the antiwear properties of the vegetable oil composition and the fluorinated additive was studied. It has been shown that oil compositions based on rapeseed oil in the presence of 2–3 % perfluorinated epilam have the highest antiwear properties. The intensity of wear, estimated during testing on a four-ball friction machine with a force load of 50–350 N in the presence of epilaminating compositions, was acceptable for the performance of a mechanical device. The antiwear properties of oil compositions based on vegetable raw materials depended both on the properties of the applied epilamy composition and on the nature of the distribution of mechanical load values during the testing of two brands of epilams. A positive factor in the use of technology for the use of fluorine-containing epilames in lubricating mixtures is an increase in the viscosity of the working composition compared to the original oils. The results obtained are of interest for developing a methodology for the long-term operation of mechanical devices and increasing their wear resistance under mechanochemical impacts.

Keywords: epilamization, epilam, vehicle parts, operational properties, wear resistance, tribological characteristics

Suggested citation: Proshina O.P., Ivankin A.N. *Epilamirovanie mekhanicheskikh ustroystv dlya povysheniya iznosostoykosti v usloviyakh mekhanokhimicheskogo vozdeystviya* [Epilamization of mechanical devices to increase wear resistance under mechanochemical impact]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2024, vol. 28, no. 1, pp. 130–138. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-1-130-138

References

- [1] Choi Y.H., Lee J., Yang J. Development of a service parts recommendation system using clustering and classification of machine learning. *Expert Systems with Applications*, 2022, v. 188, no. 2, p. 116084. doi.org/10.1016/j.eswa.2021.116084
- [2] Nawrocki W., Stryjski R., Kostrzewski K., Wozniak W., Jachowicz T. Application of the vibro-acoustic signal to evaluate wear in the spindle bearings of machining centres. In-service diagnostics in the automotive industry. *J. of Manufacturing Processes*, 2023, v. 92, no. 4, pp. 165–178. doi.org/10.1016/j.jmapro.2023.02.036
- [3] Heinicke G. *Tribochemistry*. Berlin: Akademie-Verlag edition, 1987, 495 p.
- [4] Garkunov D.I. *Tribotekhnika, konstruirovaniye, izgotovleniye i ekspluatatsiya mashin* [Tribology, design, manufacture and operation of machines]. Moscow: Moscow Academy of Agriculture Publ., 2002, 629 p.
- [5] Butenko V.I. *Nauchnye osnovy nanotribologii* [Scientific foundations of nanotribology]. Taganrog: Taganrog Institute of Technology Publ., 2012, 275 p.
- [6] Abrazumov V.V., Kotenko V.D. *Modelirovaniye protsessa rezaniya drevesnykh kompozitov na mineral'nykh vyazhushchikh* [Modeling the process of cutting wood composites on mineral binders]. *Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik*, 2005, no. 6, pp. 58–62.
- [7] Taylor R.I., Sherrington I. A simplified approach to the prediction of mixed and boundary friction. *Tribology International*, 2022, v. 175, no. 11, p. 107836. doi.org/10.1016/j.triboint.2022.107836

- [8] Atzor M., Mallor F., Pozuelo P., Fukagata K., Vinuesa R., Schlatter P. A new perspective on skin-friction contributions in adverse-pressure-gradient turbulent boundary layers. *International J. of Heat and Fluid Flow*, 2023, v. 101, no. 5, p. 109117. doi.org/10.1016/j.ijheatfluidflow.2023.109117
- [9] Danusso F., Levi M., Gianotti G., Turri S. Some physical properties of two homologous series of perfluoro-polyoxyalkylene oligomers. *European Polymer J.*, 1994, v. 30, no. 5, pp. 647–651. doi.org/10.1016/0014-3057(94)90075-2
- [10] Kononov G.N., Ugryumov S.A., Fedotov A.A. *Khimicheskoe vzaimodeystvie drevesnykh chastits so svyazuyushchim na osnovе furanovogo oligomera v strukture drevesno-struzhechnykh plit* [Chemical interaction of wood particles with a binder based on a furan oligomer in the structure of chipboards]. *Encyclopedia of Chemical Engineer*, 2014, no. 1, pp. 24–26.
- [11] Kolesnikov V.I., Pashkov D.M., Belyak O.A. Design of double layer protective coatings: Finite element modeling and machine learning approximations. *Acta Astronautica*, 2023, v. 204, no. 3, pp. 869–877. doi.org/10.1016/j.actaastro.2022.11.007
- [12] Markov V.A., Ivankin A.N., Sa Boven', Doronin D.Yu. *Tallovое maslo kak syr'e dlya proizvodstva biodizel'nogo topliva* [Tall oil as a raw material for the production of biodiesel]. *Dvigatelistroyeniye*, 2022, v. 288, no. 2, pp. 72–83. DOI: 10.18698/jec.2022.2.72-83
- [13] Monaca A., Murray J., Liao Z., Speidel A., Robles-Linares J.A. Surface integrity in metal machining. Part II: Functional performance. *International J. of Machine Tools and Manufacture*, 2021, v. 164, no. 5, p. 103718. doi.org/10.1016/j.ijmactools.2021.103718
- [14] Rodrigues S.P., Evaristo M., Carvalho S., Cavaleiro A. Fluorine-carbon doping of WS-based coatings deposited by reactive magnetron sputtering for low friction purposes. *Applied Surface Science*, 2018, v. 445, no. 7, pp. 575–585. doi.org/10.1016/j.apsusc.2018.03.113
- [15] Zhang T., Zhang W., Liu H., Wang G., Zhong Y., Zhou M., Zhu Q., Li H. Synthesis and characterization of a novel fluorine-containing triblock copolymer as a potential binder. *European Polymer J.*, 2021, v. 159, no. 10, 110760. doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2021.110760
- [16] Baranov A.V., Vigdorovich E.N. *Epilamiruyushchie pokrytiya instrumenta* [Epilamizing tool coatings]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta priborostroeniya i informatiki. Ser. Priborostroenie i informatsionnye tekhnologii* [Bulletin of the Moscow State University of Instrument Engineering and Informatics. Ser. Instrument making and information technologies], 2014, no. 53, pp. 108–115.
- [17] Ishchenko S.A., Fisenko P.P., Inshakov S.V., Balabanov V.I. *Ekonomicheskaya effektivnost' ot vnedreniya epilamirovaniya kutternykh nozhey* [Economic efficiency from the introduction of epilamination of cutter knives]. *Myasnaya industriya* [Meat Industry], 2014, no. 4, pp. 44–45.
- [18] Bykov V.V., Balabanov V.I., Golubev I.G., Golubev M.I., Okladnikov L.V. *Nanotekhnologii i nanomaterialy v lesnom mashinostroenii i tekhnicheskoy servise* [Nanotechnologies and nanomaterials in forest engineering and technical service]. Moscow: MSFU, 2013, 74 p.
- [19] Yang L., Huang H., Zeng H., Zhao X. Biomimetic chitosan nanoparticles with simultaneous water lubricant and anti-inflammatory. *Carbohydrate Polymers*, 2023, v. 304, no. 3, p. 120503. doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.120503
- [20] Zulhanafi P., Syahrullail S., Faizin Z.N. Tribological performance of trimethylolpropane ester bio-lubricant enhanced by graphene oxide nanoparticles and oleic acid as a surfactant. *Tribology International*, 2023, v. 183, no. 5, p. 108398. doi.org/10.1016/j.triboint.2023.108398
- [21] Kolesnikov V.I. *Laboratornyye raboty po distsipline «Fizika treniya»* [Laboratory work on the discipline «Physics of Friction»]. Rostov-on-Don: Rostov State University of Communications Publ., 2010, 40 p.
- [22] Ivankin A.N., Neklyudov A.D., Gorbunova N.A., Baburina M.I., Gorokhov D.G. *Bioplivo iz vozobnovlyаемого syr'ya: perspektivy proizvodstva i potrebleniya* [Biofuels from renewable raw materials: prospects for production and consumption]. *Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik*, 2008, no. 6, pp. 91–95.
- [23] Ivankin A.N., Boldyrev V.S., Zhilin Yu.N., Oliferenko G.L., Baburina M.I., Kulikovskiy A.V. *Makrokineticheskaya transformatsiya prirodnykh lipidov dlya polucheniya motornogo topliva* [Macrokinetic transformation of natural lipids for obtaining motor fuel]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. N.E. Bauman. Seriya Estestvennye nauki* [Bulletin of the N.E. Bauman Moscow State Technical University. Ser. Natural Sciences], 2017, no. 5 (74), pp. 95–108.
- [24] Yahya M., Dutta A., Bouri E., Wadström C., Uddin C.S. Dependence structure between the international crude oil market and the European markets of biodiesel and rapeseed oil. *Renewable Energy*, 2022, v. 197, no. 9, pp. 594–605. doi.org/10.1016/j.renene.2022.07.112
- [25] Shatalov K.V., Goryunova A.K., Likhterova N.M., Ivankin A.N., Baburina M.I., Kulikovskiy A.V. *Primenenie produktov sul'fatsellyuloznogo proizvodstva v kachestve prisadok k toplivam reaktivnykh dvigateley* [The use of cellulose sulphate products as additives for jet fuels]. *Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik*, 2016, v. 20, no. 6, pp. 107–115.
- [26] Neklyudov A.D., Fedotov G.N., Ivankin A.N. Intensification of composting processes by aerobic microorganisms. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 2008, v. 44, no. 1, pp. 6–18.
- [27] Alkhalaf M.I., Churchill G.C., Mirghani M.E.S. Chemical composition and antioxidant/antibacterial depictions of zahidi date palm (*Phoenix dactylifera*) kernel oil. *J. of King Saud University – Science*, 2023, v. 35, no. 7, 102817. https://doi.org/10.1016/j.jksus.2023.102817
- [28] Idowu D.O., Aiyelaagbe O.O., Idowu P.A. Chemical composition and biological activities of volatile oil of the stem of *Dombeya buettneri* K. Schum. (Sterculiaceae). *Scientific African*, 2023, v. 20, e01624. https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2023.e01624
- [29] Pesetskii S.S., Bogdanovich S.P., Myshkin N.K. Chapter 5 – Tribological behavior of polymer nanocomposites produced by dispersion of nanofillers in molten thermoplastics. *Tribology of Polymeric Nanocomposite. Friction and Wear of Bulk Materials and Coatings*, 2013, pp. 119–162. https://doi.org/10.1016/B978-0-444-59455-6.00005-2
- [30] Slobodyan M., Pesterev E., Markov A. Recent advances and outstanding challenges for implementation of high entropy alloys as structural materials. *Materials Today Communications*, 2023, v. 36, 106422. https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2023.106422
- [31] Torres A., Amini C., Cuadrado N., Travieso-Rodríguez J.A., Llumà J., Vilaseca M. Experimental validation of ball burnishing numerical simulation on ball-end milled martensitic stainless-steel considering friction and the initial surface topography. *J. of Materials Research and Technology*, 2023, v. 22, no. 1-2, pp. 3352–3361. https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.12.100

- [32] Del Rio D.D.F., Sovacool B.K., Griffiths S., Bazilian M., Kim J., Foley A.M., Rooney D. Decarbonizing the pulp and paper industry. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2022, v. 167, no. 10, 112706. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112706>
- [33] Aro T., Fatehi P. Tall oil production from black liquor: Challenges and opportunities. *Separation and Purification Technology*, 2017, v. 175, no. 3, pp. 469–480. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2016.10.027>
- [34] Collins A.M. Chapter 4 – Chemical Techniques. *Nanotechnology Cookbook*. N.Y.: Elsevier Science, 2012, pp. 35–204. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-097172-8.00004-7>
- [35] Hanus M.J., Harris A.T. Nanotechnology innovations for the construction industry. *Progress in Materials Science*, 2013, v. 58, no. 7, pp. 1056–1102. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2013.04.001>

Authors' information

Proshina Ol'ga Petrovna — Cand. Sci. (Chem.), Associate Professor, Department of General and Special Chemistry, Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, proshina-olga@inbox.ru

Ivankin Andrey Nikolaevich ✉ — Dr. Sci. (Chem.), Member of The International Higher Education Academy Of Sciences (IHEAS), Professor of the Department of Chemistry, Bauman Moscow State Technical University (National Research University) (Mytishchi branch), aivankin@inbox.ru

Received 17.04.2023.

Approved after review 02.10.2023.

Accepted for publication 15.12.2023.

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

ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАПОЛНИТЕЛЯ НА СВОЙСТВА ДРЕВЕСНОГО КОМПОЗИТА

В.А. Острякова[✉], В.Н. Ермолин, М.А. Баяндин

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», Россия, 660037, г. Красноярск, ул. Проспект имени газеты «Красноярский рабочий», д. 31

ostryakova_va@sibsau.ru

Приведены результаты исследований по поиску древесного наполнителя для создания композита, в котором в качестве матрицы используется гидродинамически активированная древесная масса. При этом ставилось условие, что его свойства будут соответствовать требованиям, предъявляемым к древесно-стружечным плитам. Получено, что геометрические характеристики древесных частиц оказывают значительное влияние на свойства композита. В первую очередь это относится к размерам частиц в направлении поперек волокон. Установлено, что использование игольчатой стружки, которая применяется в производстве древесно-стружечных плит, не позволяет получить требуемые результаты. Показана целесообразность использования в качестве наполнителя крупноразволоконных древесных частиц, полученных безножевым размолом на бегунковой дробилке. Установлено, что плиты, изготовленные способом горячего прессования из активированной древесной массы (30 %) и крупно разволоконных древесных частиц (70 %) по плотности, прочности, разбуханию и толщине соответствуют требованиям, предъявляемым к древесно-стружечным плитам и при этом имеют класс эмиссии формальдегида E0.

Ключевые слова: древесный композит, полидисперсная система, наполнитель, деформация, аутогезионное взаимодействие, фибриллирование

Ссылка для цитирования: Острякова В.А., Ермолин В.Н., Баяндин М.А. Влияние геометрических характеристик наполнителя на свойства древесного композита // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2024. Т. 28. № 1. С. 139–148. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-1-139-148

В настоящее время производство древесных плит — одно из динамично развивающихся направлений деревообработки вследствие их высоких потребительских свойств и возможности использования в качестве сырья низкосортной древесины и отходов ее механической обработки. Это в полной мере относится к древесно-стружечным плитам (ДСтП). Они имеют сравнительно высокую прочность, надежность, жесткость при средней плотности (550...820 кг/м³) и большой толщине (от 10 до 42 мм), поэтому широко применяются в производстве мебели, при отделочных и строительных работах.

В производстве ДСтП, как правило, используются связующие, созданные на основе синтетических терморезактивных полимеров, которые содержат свободный формальдегид. ДСтП — это основной источник выделения формальдегида в жилых помещениях [1, 2], что предопределяет поиск новых решений, направленных на производство экологически безопасных и поддающихся глубокому рециклингу плитных материалов.

Существующие подходы к снижению эмиссии формальдегида направлены в основном на модификацию клеевых составов на основе терморезактивных полимеров, что не позволяет в полной мере решить проблему получения экологически

безопасных материалов. В связи с этим актуальность приобрел поиск альтернативных адгезивов для производства древесных композиционных материалов без содержания формальдегида и других токсичных веществ [3–5].

Как показывает анализ работ [6–9], в последние годы (2010–2023 гг.) для получения плит активно разрабатываются связующие на основе возобновляемого сырья, в том числе химической активации древесных волокон. В частности, предлагается модификация лигнина, путем его сшивания триэтилфосфатом или диаминами и полиаминами. Кроме того, осуществляется разработка подходов для получения связующих (биоклеев) на основе соевого белка, углеводов (экзополисахаридов, крахмала и т. д.). В них основными компонентами служат природный полимер — коллаген, а также казеин, крахмал, декстрин, альбумин, декстран [10–12]. Основным недостатком таких клеевых композиций — низкие водо- и биостойкость, длительность процесса отверждения.

В большинстве случаев плиты на основе биоклеев по физико-механическим свойствам соответствуют требованиям стандартов на плитные материалы, поэтому получают плиты с классом эмиссии по формальдегиду E-0. Однако удельная продолжительность прессования плит при этом в 2–4 раза больше по сравнению с формальдегидными смолами, что и предопределяет дополнительные

затраты на их производство. Наиболее перспективным решением в этом отношении признана активация древесины для получения плит без связующих.

Древесина представляет собой комплекс полимеров, которые могут выступать в качестве адгезива [13] или обеспечивать аутогезионное взаимодействие между древесными частицами [14], что повысило интерес к плитным материалам, получаемым без связующих веществ. Одним из направлений их получения служит активация сырья [16–19].

Авторы работы [20] предложили термохимический способ подготовки древесины при формировании моноструктурных волокнистых древесных плит, что позволило полностью отказаться от синтетических связующих. Однако невозможность получения плит толщиной более 6 мм и средней плотности ограничивают их производство. Авторы связывают это с недостаточным прогревом внутреннего слоя плит толщиной более 6 мм, поскольку для трансформации компонентов древесины под действием модификатора требуется больше энергии, чем для отверждения термореактивных полимеров [20].

Аналогичные проблемы возникают при использовании этерификации древесной биомассы с использованием различных ангидридов дикарбоновых кислот в различных условиях [21–24]. Применение гликолей (этиленгликоля, глицерина и др.) в качестве одного из компонентов при изготовлении древесных плитных материалов, также весьма перспективное направление, поскольку гликоли считаются доступными реагентами и содержат две гидроксильные группы или больше, которые могут вступать в реакции сополимеризации [25, 26]. У данной композиции также есть недостаток — ограничена толщина (3...5 мм), что не сопоставимо с таковой для ДСтП, применяемых в мебельной промышленности.

В настоящее время активно развивается направление получения подобных материалов без связующих веществ, структурообразование которых происходит за счет аутогезионного взаимодействия компонентов. Известен такой способ активации, как паровзрывной гидролиз, при котором древесные частицы подвергаются разрушению вследствие декомпрессии и температуры. В результате происходит разрушение легкогидролизуемых полисахаридов и деградация лигнина, сопровождающиеся разрушением клеточной структуры древесины и увеличением количества свободных функциональных групп [27]. Это позволяет получать древесные пластики с высокими механическими свойствами [28]. Однако предлагаемые способы трудно реализовать, поскольку материалы средней плотности нет возможности получить без использования связующих веществ.

Еще одним способом активации является химическое воздействие на лигноуглеводную матрицу древесинного вещества. Для этого используют химические вещества, которые при воздействии вызывают деструкцию клеточной стенки, что позволяет увеличить количество реакционно-способных групп, которые при последующем горячем прессовании образуют физические и химические связи [29]. Данный способ получения древесных плитных материалов не нашел широкого применения ввиду высокой энергоемкости и сложной технологии.

В процессе биологической активации древесины [30, 31] под действием ферментов дереворазрушающих грибов происходит разрушение лигнина и гемицеллюлозы, а целлюлозные фибриллы практически сохраняют исходную структуру. В лигнине и полисахаридах образуются активные центры и реакционноспособные группы, которые при последующем прессовании и воздействии высоких температур образуют прочные химические связи [25, 28, 29]. Следует отметить, что при изготовлении плит из такой древесины необходимы высокая температура (170...225 °С) и высокое давление (до 20...30 МПа), тогда можно получить плиты только высокой плотности, сфера применения которых также ограничена.

Перспективным способом обработки древесины служит ее механоактивация гидродинамическим способом. При таком воздействии, вследствие эффекта кавитации, происходит фибрирование древесных частиц за счет частичного расслоения клеточных стенок на отдельные пучки фибрилл. В результате образуются новые межфазные поверхности с активными функциональными группами, которые ранее участвовали в формировании надмолекулярных структур компонентов клеточной стенки [32]. При удалении воды между функциональными группами образуются межмолекулярные связи (в основном водородные) между соседними частицами. Вследствие этого происходит структурообразование материала без использования связующих веществ. Удаление воды может происходить в процессе горячего прессования или конвективной сушки. Полученные плиты по своим механическим свойствам при сопоставимой плотности не уступают широко известным аналогам: ДСтП, древесноволокнистым плитам сухого способа производства (МДФ), древесноволокнистым плитам (ДВП), а по водостойкости даже превосходят [33, 34]. Однако гидродинамическая обработка древесного сырья требует существенных энергозатрат, поэтому не всегда целесообразно изготавливать плиты исключительно из активированной массы. В некоторых случаях было бы рациональным получение композита, состоящего из активированной массы (матрицы)



Рис. 1. Наполнитель для производства опытных образцов древесных плит: *а* — игольчатая стружка для ДСтП; *б* — рафинерное волокно для ДВП
Fig. 1. Filler for the production of wood-based panel prototypes: *a* — needle chips for chipboard; *b* — refinery fiber for fiberboard

древесных частиц (наполнителя), что позволило бы снизить энергозатраты на единицу продукции и тем самым повысить эффективность. Подобного опыта ранее не было и научные основы создания таких композитов не разработаны.

Цель работы

Цель работы — выбор вида наполнителя для получения на основе механоактивированной массы древесного композита, аналогичного по физико-механическим свойствам ДСтП.

Материалы и методы

Процесс формирования структуры механоактивированной древесной массы (матрица) происходит в результате высыхания. Масса представляет собой двухфазную полидисперсную систему из древесных частиц и воды. Удаление влаги из такой системы под действием сил капиллярной контракции [35, 36] приводит к уменьшению ее размеров (усадке) на всем диапазоне изменения влажности (от 1000 до 5 %) [37].

Наполнитель (стружка) представляет собой капиллярно-пористое коллоидное тело, которое также деформирует, но при удалении только связанной влаги (при усушке). У наполнителя, в отличие от активированной массы, ярко выражена анизотропия усушки вдоль и поперек волокон. Усушка поперек волокон почти на два порядка больше, чем вдоль. Это различие свойств наполнителя и матрицы следует учитывать, поскольку без этого невозможно получить композит с высокими эксплуатационными свойствами вследствие возможных локальных отслоений в месте контактов компонентов.

Анализ явлений, происходящих в процессе структурообразования такого композита, позволили сделать заключение, что один из возможных факторов, влияющих на свойства материала, — это геометрические характеристики наполнителя, в первую очередь его размеры в направлении поперек волокон из-за больших влажностных деформаций. Для проверки этого заключения были проведены экспериментальные исследования на примере двух видов наполнителя: 1) игольчатой стружки из древесины хвойных пород фракцией от 2,0 до 0,5 мм, полученной на центробежном стружечном станке (рис. 1, *а*); 2) рафинерного хвойного волокна для ДВП, полученного на АО «Лесосибирский ЛДК № 1» (рис. 1, *б*). У стружки поперечный размер в среднем составлял 1,2 мм, а продольный — 10 мм, у волокна соответственно 0,03 ... 0,08 и 1 ... 3 мм.

Для изготовления древесной массы использовались опилки хвойных пород, имеющих влажность 50...80 %. Их замачивали в воде в соотношении 94 % воды и 6 % опилок. После чего производили активацию в гидродинамическом диспергаторе роторного типа РГГД-1 [38]. Полученную древесную массу смешивали с наполнителем в соотношении 70:30 (70 % наполнителя; 30 % массы). После этого ее загружали в пресс-форму размером 250×250 мм и помещали под прессовку при давлении $P = 2,5$ МПа в течение $\tau = 5$ мин. Уплотненная композиция помещалась в пресс горячего прессования, где согласно выбранному режиму прессовалась до состояния готовой плиты. В результате были получены плиты толщиной 15 мм и плотностью 750 кг/м³.

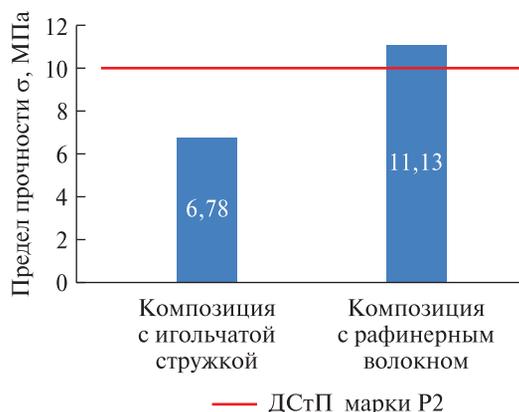


Рис. 2. Влияние вида наполнителя на прочность плит при статическом изгибе

Fig. 2. Influence of the type of filler on the static bending strength of boards

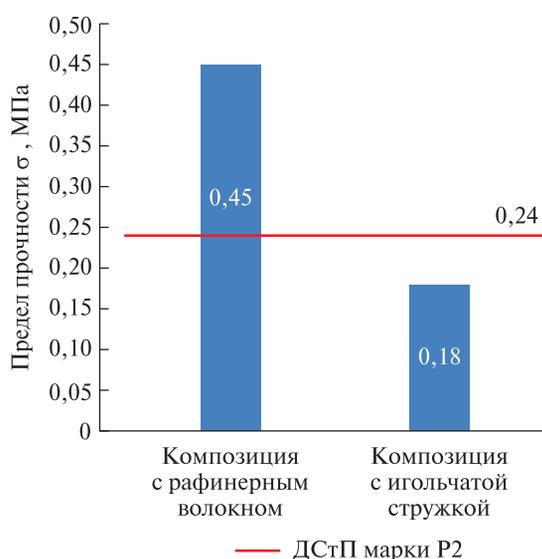


Рис. 3. Влияние вида наполнителя на прочность плит при растяжении перпендикулярно к пласти

Fig. 3. Influence of the type of filler on the tensile strength of boards perpendicular to the plate



Рис. 4. Разволокненные древесные частицы

Fig. 4. Fibrous wood particles

Далее, в соответствии с ГОСТ 10632–2014 [39], были проведены испытания на статический изгиб и на разрыв перпендикулярно пласти (рис. 2). В качестве контроля на рис. 2 приведены значения, требуемые стандартом для ДСтП, поскольку именно они являются прямым аналогом для исследуемых плит.

Из полученных результатов следует, что у плит, наполнителем в которых было волокно, прочность на статический изгиб значительно выше, чем у плит с игольчатой стружкой, и у плит с волокном прочность выше, чем требуется по стандарту для ДСтП, полученных с использованием синтетических адгезивов. У плит с игольчатой стружкой прочность примерно на 1/3 ниже, чем с волокном, и не соответствует требованиям стандарта.

Результаты исследований на разрыв перпендикулярно пласти представлены на рис. 3, откуда следует, что данный показатель прочности также существенно зависит от формы частиц наполнителя. В частности, использование рафинерного волокна позволяет получить прочность более чем в 2 раза выше, при использовании игольчатой стружки прочность существенно ниже, чем в требованиях к ДСтП.

Как мы и предполагали на основании анализа, наполнитель в такой композиции должен иметь минимальный размер в направлении поперек волокон. Это, по всей вероятности, позволяет уменьшить напряжения в зоне контакта матрицы и наполнителя, которые возникают из-за разности их влажностных деформаций. По этой причине не происходит отслоение в зоне контакта, что обеспечивает высокую прочность.

Рафинерное волокно не является лучшим наполнителем для получения плит, что связано с особенностями его получения, требующего существенных энергозатрат и специального оборудования. На известных стружечных станках (т. е. за счет резанья) получить частицы требуемых геометрических характеристик не представляется возможным. В связи с этим потребовался поиск способов получения наполнителя, основанных на других принципах. В частности, были изучены древесные частицы, изготовленные из хвойной древесины путем безножевого размола на бегунковой дробилке Vecoplan АО «Краслесинвест». По классификации, приведенной в работах [40, 41], такие частицы можно отнести к крупноразволокненным (рис. 4).

На фотографии видно, что большинство частиц в направлении поперек волокон, достаточно большого размера, но они не представляют собой сплошное тело. За счет трещин вдоль волокон, которые появляются в процессе их получения, частицы несколько разделены на отдельные

фрагменты и могут деформировать при изменении влажности независимо одна от другой. Это, возможно, позволит снизить напряжения в зоне контакта наполнителя и матрицы. Для проверки этого предположения были проведены дальнейшие исследования.

По изложенной выше методике были изготовлены плиты с таким наполнителем фракции от 0,3 до 5 мм. Механические испытания плит показали следующее. Предел прочности на статический изгиб равен 11,23 МПа, т. е. такой же, как и у плит, наполнителем в которых было волокно, и больше требуемого стандартом для ДСтП. Прочность на разрыв перпендикулярно пласти составила 0,32, что меньше, чем у плит с волокном, но выше чем в требованиях к ДСтП.

В соответствии с ГОСТ 10634–88 были проведены исследования разбухания плит (рис. 5), из которых следует, что разбухание плит с разволокненным наполнителем соответствует требованиям, предъявляемым к ДСтП. При этом у плит с волокном отметим аномально высокое разбухание.

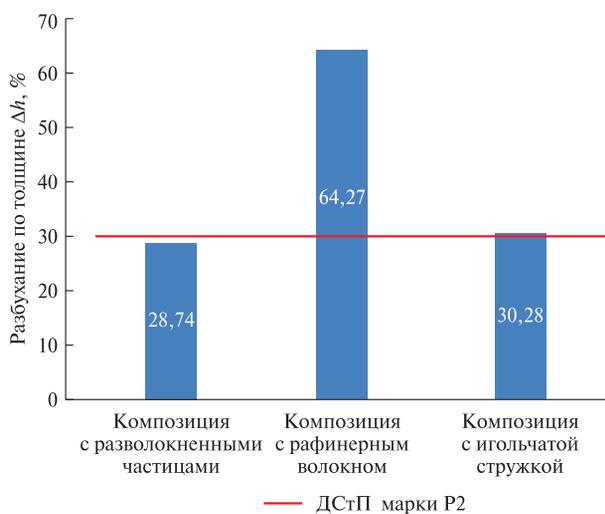


Рис. 5. Влияние вида наполнителя на разбухание плит по толщине

Fig. 5. Influence of the type of filler on the thickness swelling of boards

Полученные результаты подтверждают принципиальную возможность получения плитных материалов, состоящих из активированной древесной массы и наполнителя, которые по плотности и прочности соответствуют требованиям, предъявляемым к ДСтП, и при этом определенная перфораторным методом эмиссия формальдегида может составить 0,91 мг/100 г абсолютно сухой плиты, что соответствует естественному фону древесины и соответственно классу эмиссии E0. Следовательно, такие плиты могут найти широкое применение.

Выводы

1. При получении композита из активированной древесной массы и древесного наполнителя свойства материала существенно зависят от размеров частиц наполнителя, в первую очередь от размера поперек волокон — чем меньше размер, тем выше свойства.

2. Древесные частицы, полученные резаньем на стружечных станках, не могут использоваться как наполнитель при получении плит, у которых в качестве матрицы взята активированная древесная масса. Перспективным наполнителем для таких плит являются крупноразволокненные древесные частицы, полученные на бегунковых дробилках.

3. Плиты, полученные горячим прессованием из активированной древесной массы (30 %) и крупноразволокненных древесных частиц, изготовленных на бегунковой дробилке (70 %), по плотности, прочности, разбуханию и толщине соответствуют требованиям, предъявляемым к ДСтП, и имеют класс эмиссии формальдегида E0.

Список литературы

- [1] Стрелков В.П., Бардонов В.А. Проблемы экологической безопасности древесных плит и мебели в соответствии с новыми требованиями нормативов Таможенного союза // Экологический вестник России, 2013. № 9. С. 39–44.
- [2] Отлев И.А., Штейнберг Ц.Б. Справочник по древесно-стружечным плитам. М.: Лесн. пром-сть, 1983. 233 с.
- [3] Базарнова Н.Г., Катраков И.Б., Галочкин А.И., Ефанов М.В. Плитные материалы на основе продуктов глубокой химической переработки древесины // Труды Международного форума по проблемам науки, техники и образования. Москва, Академия наук о Земле, МИИГАиК, 19–23 мая 1997 г. / под ред. В.П. Савиных, В.В. Вишневого. М.: Изд-во Академия наук о земле, 1997. Вып. 1. С. 46–49.
- [4] Леонович А.А. Физико-химические основы образования древесных плит. СПб.: Химиздат, 2003. 192 с.
- [5] Варфоломеев А.А., Синегибская А.Д., Гоготов А.Ф., Каницкая Л.В., Рохин А.В. Фенолформальдегидные смолы, модифицированные лигнином. Новые аспекты реакции // Химия растительного сырья, 2009. № 3. С. 11–16.
- [6] Abdelwahab N.A., Nassar M.A. Preparation, optimisation and characterisation of lignin phenol formaldehyde resin as wood adhesive // Pigment & Resin Technology, 2011, v. 40, no. 3, pp. 169–174.
- [7] Liu H., Xu T., Liu K., Zhang M., Liu W., Li H., Du H., Si C. Lignin-based electrodes for energy storage application // Industrial Crops and Products, 2021, v. 165, pp. 113–125.
- [8] Halis R. Optimization of Kraft and BioKraft pulping for Kenaf V36: PhD thesis. Malaysia: Universiti Putra, 2010.
- [9] Mohamed R., Halis R., Lim M.T. Biodegrading ability and enzymatic activities of some white rot fungi on kenaf (*Hibiscus cannabinus*) // Sains Malaysiana, 2013, v. 42, no. 10, pp 1365–1370.
- [10] Лестер У., Шуштары К.А., Асрар Д., Го Ч., Чжан М. Связующие композиции, содержащие соевый белок и углеводов. Патент РФ № С2589653, 2016.

- [11] Пашкин С.В., Иванова М.А., Щелоков В.М. Инновационные технологии получения экологически чистых клееных материалов на основе водорастворимого биоклея из низкосортной древесины // *Лесной вестник / Forestry bulletin*, 2012, № 8 (91). С. 59–63.
- [12] Брутян К.Г. Формирование низкотоксичных древесных материалов с использованием клеев, модифицированных шунгитовыми сорбентами: дис. ... канд. техн. наук. СПбГЛТА, 2010. С. 153.
- [13] Ветошкина А.Е. Полимерные композиционные материалы на основе растительного сырья // *Современные проблемы и перспективные направления инновационного: сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции Омск, 14 июля 2022 г. Стерлитамак: Изд-во АМИ, 2022. С. 127–132.*
- [14] Кононов Г.Н., Зайцев В.Д. Древесина как химическое сырье: история и современность. I. Лигноуглеводный комплекс древесины как объект изучения // *Лесной вестник / Forestry Bulletin*, 2020. Т. 24. № 1. С. 74–89. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-1-74-89
- [15] Базарнова Н.Г., Маркин В.И., Колосов П.В., Катраков И.Б., Калюта Е.В., Чепрасова М.Ю. Методы получения лигноуглеводных композиций из химически модифицированного растительного сырья // *Российский химический журнал*, 2011. Т. 55. № 1. С. 4–9.
- [16] Голязимова О.В. Механическая активация ферментативного гидролиза целлюлозы и лигноцеллюлозных материалов: автореф. дис. ... канд. хим. наук, 02.00.21. Новосибирск, 2010. 22 с.
- [17] Пестунов А.В., Кузьмин А.О., Яценко Д.А., Правдина М.Х., Таран О.П. Механическая активация чистой и содержащейся в древесных опилках целлюлозы в мельницах различного типа // *Журнал Сибирского федерального университета*, 2015. Т. 8. № 3. С. 386–400.
- [18] Левданский В.А. Комплексная переработка древесной коры с использованием процессов экстракции и взрывного автогидролиза: автореф. дис. ... д-ра хим. наук, Красноярск, 2006. 333 с.
- [19] Кузнецов Б.Н., Чесноков Н.В., Иванов И.П., Веприкова Е.В., Иванченко Н.М. Методы получения пористых материалов из лигнина и древесной коры (обзор) // *Журнал сибирского федерального университета. Химия*, 2015. Т. 8. № 2. С. 232–255.
- [20] Иванов Д., Орехов Е., Никифорова П., Усенко С. Нетоксичные древесноволокнистые плиты сухого способа изготовления // *Бюллетень Ассоциации «ЛЕСТЕХ»* 2022. № 9. С. 34–37.
- [21] Marcovich N.E., Reboredo M.M., Aranguren M.I. Sawdust modification: Maleic anhydride chemical treatment // *Holz als Roh-und Werkstoff*, 1996, v. 3, no. 54, pp. 189–193.
- [22] Hill C.A.S., Papadopoulos A.N. The pyridine-catalysed acylation of pine sapwood and phenolic model compounds with carboxylic acid anhydrides // *Determination of activation energies and entropy of activation*, 2002, pp. 150–156.
- [23] Doczekalska B., Bartkowiak M., Zakrzewski R. Esterification of willow wood with cyclic acid anhydrides // *Wood research*, 2014, v. 59, no. 1, pp. 85–96.
- [24] Vaidya A.A., Gaugler M., Smith D.A. Green route to modification of wood waste, cellulose and hemicellulose using reactive extrusion // *Carbohydrate polymers*, 2016, v. 136, pp. 1238–1250.
- [25] Катраков И.Б., Маркин В.И., Базарнова Н.Г., Голятин П.С. Различные связующие для получения полимерных композиций на основе древесины сосны // *Новые достижения в химии и химической технологии растительного сырья: Материалы VI Всерос. конф. Барнаул, 22–24 апреля 2014 г. Барнаул: Изд-во Алтайского государственного университета*, 2014. С. 366–368.
- [26] Катраков И.Б., Базарнова Н.Г., Маркин В.И. Пресс-масса, способ ее получения и способ получения плитных материалов на ее основе. Пат. 2381244 Российская Федерация, МПК C08L 97/02 (2006.01), B27K 9/00 (2006.01), B27N 3/04 (2006.01)/заявитель и патентообладатель Катраков И.Б., Базарнова Н.Г., Маркин В.И. № 2008100649; заявл. 20.07.2009; опубл. 10.02.2010, бюл. № 4, 12 с.
- [27] Просвирников Д.Б., Сафин Р.Р., Козлов Р.Р. Исследование физических свойств древесно-композиционных материалов на основе промытых активированных лигноцеллюлозных волокон // *Наука. Образование. Инновации: сб науч. трудов по материалам XXII Междунар. науч.-практ. конф., Анапа, 12 сентября 2020. Анапа: Изд-во Научно-исследовательского центра экономических и социальных процессов в Южном Федеральном округе*, 2020. С. 33–39.
- [28] Катраков И.Б., Маркин В.И., Колосов П.В. Бифункциональные синтетические связующие как альтернатива бесформальдегидного производства древесных плитных материалов // *Химия растительного сырья*, 2018. № 3. С. 251–260.
- [29] Катраков И.Б., Маркин В.И. Способ получения плитных материалов на основе кавитированного растительного сырья и синтетических связующих. Пат. 2656067 Российская Федерация, МПК B27N 3/04 (2006.01), C08L 97/02 (2006.01)/заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет» № 2016145029; заявл. 16.11.2016; опубл. 16.05.2018, бюл. № 14, 7с.
- [30] Шутова В.В., Ревин В.В., Кудалева Т.В. Изучение действия гриба *Lentinus (Panus) tigrinus* на древесные отходы, используемые для получения биоконпозиционных материалов // *Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Химия. Биология. Экология*, 2013. Т. 13. № 4. С. 80–85.
- [31] Ильин Д.Ю., Ильина Г.В., Гарибова Л.В., Лихачев А.Н. Последовательная биоконверсия лигноцеллюлозных субстратов как способ реализации биотехнологического потенциала грибов // *Микология и фитопатология*, 2017. Т. 51. № 2. С. 90–98.
- [32] Казицин С.Н. Получение древесных плит без связующих веществ из механоактивированных древесных частиц: дис. ... канд. тех. наук. Екатеринбург: УГЛТУ, 2018. 20 с.
- [33] Казицин С. Н., Баяндин М. А., Ермолин В. Н. Влияние способов подготовки древесной массы на свойства плитных материалов // *Лесной и химический комплексы — проблемы и решения. Красноярск: Изд-во СибГТУ*, 2014. С. 81–84.
- [34] Баяндин М.А., Карнаухов В.Е., Намятов А.В., Ермолин В.Н. Исследование влажностных деформаций при формировании плит без связующих // *Лесной и химический комплексы — проблемы и решения: Сб. материалов по итогам Всерос. науч.-практ. конф., Красноярск, 29 октября 2021 г. Красноярск: Изд-во СибГУ им. М.Ф. Решетнева*, 2022. С. 195–197.
- [35] Остриков М.С. О механическом действии молекулярно-поверхностных сил в процессах высыхания и увлажнения дисперсных и высокомолекулярных систем // *Материалы VIII Менделеевского съезда по общей и прикладной химии (секция коллоидной химии)*, Москва, 16–23 марта 1959 г. М.: Изд-во АН СССР, 1961. Т. 707. С. 59.
- [36] Остриков М.С., Дибров Г.Д., Данилова Е.П. О капиллярной контракции при высыхании в пленках-слоях гелей и пористых дисперсных тел // *Доклады Академии наук — Российская академия наук*, 1958. Т. 118, № 4. С. 751–754.

- [37] Карнаухов В.Е., Острякова В.А. Влияние начальной влажности на усадку при сушке плит без связующих // Молодые ученые в решении актуальных проблем науки: Сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых (с международным участием) 20–21 апреля 2023, Красноярск: Изд-во СибГУ им. М.Ф. Решетнева, 2022. С. 289–291.
- [38] Ермолин В.Н., Казицин С.Н., Баяндин М.А., Намятов А.В. Разработка режима гидродинамической активации древесных частиц с целью получения плит без связующих веществ // Хвойные бореальной зоны, 2017. Т. 35. № 3–4. С. 79–83.
- [39] ГОСТ 10632–2014. Плиты древесно-стружечные. Технические условия. М.: Стандартиформ, 2014. 16 с.
- [40] Пучков Б.В. Измельчение сырья для древесных плит. М.: Лесная пром-сть, 1980. 117 с.
- [41] Модлин Б.Д., Отлев И.А. Производство древесно-стружечных плит. М.: Высшая школа, 1977. 216 с.
- [42] ГОСТ 27678–2014 Плиты древесные и фанера. Перфораторный метод определения содержания формальдегида. М.: Стандартиформ, 2015. 7 с.

Сведения об авторах

Острякова Валентина Александровна  — аспирант, зав. лаборатории кафедры «Технология композиционных материалов и древесиноведение», ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», ostryakova_va@sibsau.ru

Ермолин Владимир Николаевич — д-р тех. наук, профессор, зав. кафедрой «Технология композиционных материалов и древесиноведение», ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева»; ermolinvn@sibsau.ru

Баяндин Михаил Андреевич — канд. тех. наук, доцент, доцент кафедры «Технология композиционных материалов и древесиноведение», ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева»; bayandinma@sibsau.ru

Поступила в редакцию 01.03.2023.

Одобрено после рецензирования 30.05.2023.

Принята к публикации 28.11.2023.

INFLUENCE OF FILLER GEOMETRICAL CHARACTERISTICS ON WOOD COMPOSITE PROPERTIES

V.A. Ostryakova✉, V.N. Ermolin, M.A. Bayandin

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, 31, Prospect named after the newspaper «Krasnoyarsk worker» st., 660037, Krasnoyarsk, Russia

ostryakova_va@sibsau.ru

This paper presents the study results on the possibility of obtaining wood composite similar in properties to WPC and consisting of wood chips (filler) and hydrodynamically activated wood pulp (matrix). The structural formation of this composite occurs as a result of moisture removal. Due to the different properties of the components, there is a problem of obtaining a composite with high performance properties. The mass is a two-phase polydisperse system. Removal of moisture from such systems leads to a decrease in size (shrinkage). Dimensional reduction occurs over the entire range of moisture variation. The filler (shavings) is a capillary-porous colloidal body which also deforms but when only bound moisture is removed (shrinkage). It follows that the properties of the composite can be influenced by the size of the chip and primarily across the fibers. To test this hypothesis, boards with a density of 750 kg/m³ and a thickness of 15 mm consisting of activated wood pulp (30 %) and filler (70 %) were made. The filler used was refiner fiber and needle shavings. The static bending strength of the boards with refiner fiber was 11,13 MPa and that of the boards with needle shavings was 6,78 MPa. The tensile strength perpendicular to the plate was 0,45 MPa and 0,18 MPa, respectively. Considering that refiner fibers are not economically feasible to use for the production of boards, a search for other types of filler was carried out. As a result of the analysis, the filler produced on runner crushers was selected. Studies have shown that the bending strength of boards with such a filler is 11,23 MPa, the breaking strength perpendicular to the plate is 0,32 MPa, the swelling on the thickness of 28 %. The results obtained indicate the possibility of obtaining boards with all the properties corresponding to the requirements for fiberboard and having the formaldehyde emission class E0.

Keywords: wood composite, polydisperse system, filler, deformation, autohesy interaction, fibrillation

Suggested citation: Ostryakova V.A., Ermolin V.N., Bayandin M.A. *Vliyaniye geometricheskikh kharakteristik napolnitelya na svoystva drevsnogo kompozita* [Influence of filler geometrical characteristics on wood composite properties]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2024, vol. 28, no. 1, pp. 139–148. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-1-139-148

References

- [1] Strelkov V.P., Bardonov V.A. *Problemy ekologicheskoy bezopasnosti drevesnykh plit i mebeli v sootvetstvii s novymi trebovaniyami normativov Tamozhennogo soyuza* [Problems of environmental safety of wood boards and furniture in accordance with the new requirements of the Customs Union regulations]. *Ekologicheskii vestnik Rossii* [Ecological Bulletin of Russia], 2013, no. 9, pp. 39–44.
- [2] Otlev I.A., Shteynberg Ts.B. *Spravochnik po drevesno-struzhechnym plitam* [Handbook on particle boards]. Moscow: Lesnaya prom-st', 1983, 233 p.
- [3] Bazarnova N.G., Katrakov I.B., Galochkin A.I., Efanov M.V. *Plitnye materialy na osnove produktov glubokoy khimicheskoy pererabotki drevesiny* [Board materials based on products of deep chemical processing of wood]. *Trudy Mezhdunarodnogo foruma po problemam nauki, tekhniki i obrazovaniya* [Proceedings of the International Forum on Science, Technology and Education]. December 8–12, 1997 / Ed. V.P. Savinykh, V.V. Vishnevsky. Moscow: Academy of Earth Sciences, 1997, v. 1, pp. 46–49.
- [4] Leonovich A.A. *Fiziko-khimicheskie osnovy obrazovaniya drevesnykh plit* [Physical and chemical bases of wood boards formation]. St. Petersburg: Himizdat, 2003, 192 p.
- [5] Varfolomeev A.A., Sinegibskaya A.D., Gogotov A.F., Kanitskaya L.V., Rokhin A.V. *Fenolformal'degidnye smoly, modifitsirovannyye ligninom. Novye aspekty reaktsii* [Phenol-formaldehyde resins modified by lignin. New aspects of the reaction]. *Chemistry of Plant Raw Materials*, 2009, v. 3, pp. 11–16.
- [6] Abdelwahab N.A., Nassar M.A. Preparation, optimisation and characterisation of lignin phenol formaldehyde resin as wood adhesive. *Pigment & Resin Technology*, 2011, v. 40, no. 3, pp. 169–174.
- [7] Liu H., Xu T., Liu K., Zhang M., Liu W., Li H., Du H., Si C. Lignin-based electrodes for energy storage application. *Industrial Crops and Products*, 2021, v. 165, pp. 113–125.
- [8] Halis R. Optimization of Kraft and BioKraft pulping for Kenaf V36: PhD thesis. Malaysia: Universiti Putra, 2010.
- [9] Mohamed R., Halis R., Lim M.T. Biodegrading ability and enzymatic activities of some white rot fungi on kenaf (*Hibiscus cannabinus*). *Sains Malaysiana*, 2013, v. 42, no. 10, pp. 1365–1370.
- [10] Lester U., Shushtari K.A., Asrar D., Go Ch., Chzhan M. *Svyazuyushchie kompozitsii, sodержashchie soevyy belok i uglevod* [Binding compositions containing soy protein and carbohydrate]. Patent RF № S2589653, 2016.
- [11] Pashkin S.V., Ivanova M.A., Shchelokov V.M. *Innovatsionnye tekhnologii polucheniya ekologicheskii chistykh kleenykh materialov na osnove vodorastvorimogo biokleya iz nizkosortnoy drevesiny* [Innovative technologies for obtaining environmentally friendly glued materials based on water-soluble bioclay from low-grade wood]. *Lesnoy vestnik / Forestry bulletin*, 2012, no. 8 (91), pp. 59–63.
- [12] Brutyan K.G. *Formirovaniye nizkotoksichnykh drevesnykh materialov s ispol'zovaniem kleev, modifitsirovannykh shungitovymi sorbentami* [Formation of low-toxic wood materials using adhesives modified by shungite sorbents]. Dis. Cand. Sci. (Tech.). St. Petersburg: St. Petersburg State Forestry Academy, 2010. P. 153.

- [13] Vetoshkina A.E. *Polimernye kompozitsionnye materialy na osnove rastitel'nogo syr'ya* [Polymeric composite materials on the basis of plant raw materials]. *Sovremennyye problemy i perspektivnye napravleniya innovatsionnogo* [Modern problems and promising areas of innovation modern problems and perspective directions of innovative], 2022, pp. 127–132.
- [14] Kononov G.N., Zaitsev V.D. *Drevesina kak khimicheskoe syr'e: istoriya i sovremennost'. I. Lignouglevodnyy kompleks drevesiny kak ob'ekt izucheniya* [Wood as a chemical raw material: its history and modernity. I. Lignocarbhydrate complex of wood as an object of study]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 1, pp. 74–89. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-1-74-89
- [15] Bazarnova N.G., Markin V.I., Kolosov P.V., Katrakov I.B., Kalyuta E.V., Cheprasova M.Yu. *Metody polucheniya lignouglevodnykh kompozitsiy iz khimicheskii modifitsirovannogo rastitel'nogo syr'ya* [Methods for obtaining lignocarbhydrate compositions from chemically modified plant raw materials] *Rossiyskiy khimicheskii zhurnal* [Russian Chemical Journal], 2011, v. 55, no. 1, pp. 4–9.
- [16] Golyazimova O.V. *Mekhanicheskaya aktivatsiya fermentativnogo gidroliza tsellyulozy i lignotsellyuloznykh materialov* [Mechanical activation of fermentative hydrolysis of cellulose and lignocellulosic materials]. *Dis. Cand. Sci. (Chemical)*. Novosibirsk, 2010, p. 240.
- [17] Pestunov A.V., Kuz'min A.O., Yatsenko D.A., Pravdina M.Kh., Taran O.P. *Mekhanicheskaya aktivatsiya chistoy i sodershashcheyasya v drevesnykh opilkakh tsellyulozy v mel'nitsakh razlichnogo tipa* [Mechanical activation of pure cellulose and cellulose contained in sawdust in mills of various types]. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta* [J. of Siberian Federal University], 2015, v. 8, no. 3, pp. 386–400.
- [18] Levdanskiy V.A. *Kompleksnaya pererabotka drevesnoy kory s ispol'zovaniem protsessov ekstraktsii i vzryvnogo avtogidroliza* [Integrated processing of wood bark using the processes of extraction and explosive autohydrolysis]. *Diss. Dr. Sci. (Chemical)*, 2006, 333 p.
- [19] Kuznetsov B.N., Chesnokov N.V., Ivanov I.P., Veprikova E.V., Ivanchenko N.M. *Metody polucheniya poristykh materialov iz lignina i drevesnoy kory (obzor)* [Methods of obtaining porous materials from lignin and wood bark (review)]. *Zhurnal sibirskogo federal'nogo universiteta. Khimiya* [J. of Siberian Federal University. Chemistry], 2015, v. 8, no. 2, pp. 232–255.
- [20] Ivanov D., Orekhov E., Nikiforova P., Usenko S. *Netoksichnye drevesnovoloknistye plity sukhogo sposoba izgotovleniya* [Non-toxic wood-fiber boards in a dry process]. *Byulleten' Assotsiatsii «LESTEKh»*, 2022, no. 9, pp. 34–37.
- [21] Marcovich N.E., Reboledo M.M., Aranguren M.I. *Sawdust modification: Maleic anhydride chemical treatment*. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 1996, v. 3, no. 54, pp. 189–193.
- [22] Hill C.A.S., Papadopoulos A.N. *The pyridine-catalysed acylation of pine sapwood and phenolic model compounds with carboxylic acid anhydrides. Determination of activation energies and entropy of activation*, 2002, pp. 150–156.
- [23] Doczekalska B., Bartkowiak M., Zakrzewski R. *Esterification of willow wood with cyclic acid anhydrides*. *Wood research*, 2014, v. 59, no. 1, pp. 85–96.
- [24] Vaidya A.A., Gaugler M., Smith D.A. *Green route to modification of wood waste, cellulose and hemicellulose using reactive extrusion*. *Carbohydrate polymers*, 2016, v. 136, pp. 1238–1250.
- [25] Katrakov I.B., Markin V.I., Bazarnova N.G., Golyatin P.S. *Razlichnye svyazuyushchie dlya polucheniya polimernykh kompozitsiy na osnove drevesiny sosny* [Various binders for obtaining polymeric compositions based on pine wood]. *Novye dostizheniya v khimii i khimicheskoy tekhnologii rastitel'nogo syr'ya: materialy VI Vserossiyskoy konferentsii* [New advances in chemistry and chemical technology of plant raw materials: materials of the VI All-Russian Conference]. Barnaul, 22–24 aprelya 2014 g. Barnaul: Altayskiy gosudarstvennyy universitet, 2014, pp. 366–368.
- [26] Katrakov I.B., Bazarnova N.G., Markin V.I. *Press-massa, sposob ee polucheniya i sposob polucheniya plitnykh materialov na ee osnove* [Press-mass, method of its production and method of obtaining materials on its basis]. *Patent RF. № 2381244*, 2009.
- [27] Prosvirnikov D.B., Safin R.R., Kozlov R.R. *Issledovanie fizicheskikh svoystv drevesno-kompozitsionnykh materialov na osnove promytnykh aktivirovannykh lignotsellyuloznykh volokon* [Study of physical properties of wood composite materials based on washed activated lignocellulosic fibers]. *Nauka. Obrazovanie. Innovatsii: sb nauch. trudov po materialam XXII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Science. Education. Innovations: Sat scientific. proceedings based on the materials of the XXII International Scientific and Practical Conference], Anapa, September 12, 2020. Anapa: Nauchno-issledovatel'skiy tsentr ekonomicheskikh i sotsial'nykh protsessov v Yuzhnom Federal'nom okruge [Research Center for Economic and Social Processes in the Southern Federal District], 2020, pp. 33–39.
- [28] Katrakov I.B., Markin V.I., Kolosov P.V. *Bifunktsional'nye sinteticheskie svyazuyushchie kak al'ternativa besformal'degidnogo proizvodstva drevesnykh plitnykh materialov* [Kolosov Bifunctional synthetic binders as an alternative to formaldehyde-free production of wood panel materials]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of vegetable raw materials], 2018, no. 3, pp. 251–260.
- [29] Katrakov I.B., Markin V.I. *Sposob polucheniya plitnykh materialov na osnove kavitirovannogo rastitel'nogo syr'ya i sinteticheskikh svyazuyushchikh* [Method of obtaining plate materials based on cavitated vegetable raw materials and synthetic binders]. *Patent RF № 2656067*, 2018.
- [30] Shutova V.V., Revin V.V., Kudaeva T.V. *Izuchenie deystviya griba *Lentinus (Panus) tigrinus* na drevesnye otkhody, ispol'zuyemye dlya polucheniya biokompozitsionnykh materialov* [The study of the action of the fungus *Lentinus (Panus) tigrinus* on wood waste used to obtain biocomposite materials]. *Izvestiya Saratovskogo universiteta. Novaya seriya. Seriya Khimiya. Biologiya. Ekologiya* [News Saratov University. New Series. Series Chemistry. Biology. Ecology], 2013, v. 13, no. 4, pp. 80–85.
- [31] Il'in D.Yu., Il'ina G.V., Garibova L.V., Likhachev A.N. *Posledovatel'naya biokonversiya lignotsellyuloznykh substratov kak sposob realizatsii biotekhnologicheskogo potentsiala gribov* [Sequential bioconversion of lignocellulosic substrates as a way to realize the biotechnological potential of fungi]. *Mikologiya i fitopatologiya* [Mycology and Phytopathology], 2017, v. 51, no. 2, pp. 90–98.
- [32] Kazitsin S.N. *Poluchenie drevesnykh plit bez svyazuyushchikh veshchestv iz mekhanoaktivirovannykh drevesnykh chastits* [Preparation of wood boards without binders from mechanically activated wood particles]. *Dis. Cand. Sci. (Tech.)*. UGLTU, 2018.
- [33] Kazitsin S. N., Bayandin M. A., Ermolin V. N. *Vliyaniye sposobov podgotovki drevesnoy massy na svoystva plitnykh materialov* [Influence of wood pulp preparation methods on the properties of board materials]. *Lesnoy i khimicheskii komplekсы — problema i resheniya* [Forest and Chemical Complexes-Problems and Solutions]. Krasnoyarsk: SibGTU, 2014, pp. 81–84.

- [34] Bayandin M.A., Karnaukhov V.E., Namyatov A.V., Ermolin V.N. *Issledovanie vlazhnostnykh deformatsiy pri formirovani plit bez svyazuyushchikh* [Water resistance of wood boards produced without the use of binders]. Lesnoy i khimicheskii kompleksey — problemy i resheniya: sb. mater. po itogam Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Forest and chemical complexes — problems and solutions: collection. mater. based on the results of the All-Russian Scientific and Practical Conference], Krasnoyarsk, October 29, 2021. Krasnoyarsk, 2022, pp. 195–197.
- [35] Ostrikov M.S. *O mekhanicheskom deystvii molekulyarno-poverkhnostnykh sil v protsessakh vysykhaniya i uvlazhneniya dispersnykh i vysokomolekulyarnykh sistem* [On the mechanical action of molecular-surface forces in the processes of drying and wetting of dispersed and high-molecular weight systems]. Mater. VIII Mendeleevskogo s'ezda po obshchey i prikladnoy khimii (sektiya kolloidnoy khimii) [Mater. VIII Mendeleev Congress of General and Applied Chemistry (Colloid Chemistry Section)] Moscow: AN SSSR, 1961, v. 707, p. 59.
- [36] Ostrikov M.S., Dibrov G.D., Danilova E.P. *O kapillyarnoy kontraktzii pri vysykhanii v plenkakh-sloyakh geley i poristykh dispersnykh tel* [On Capillary Contraction during Drying in Film-Layers of Gels and Porous Dispersed Bodies] Doklady Akademii nauk — Rossiyskaya akademiya nauk [Proceedings of the Academy of Sciences. Russian Academy of Sciences], 1958, v. 118, no. 4, pp. 751–754.
- [37] Karnaukhov V.E., Ostryakova V.A. *Vliyanie nachal'noy vlazhnosti na usadku pri sushke plit bez svyazuyushchikh* [Influence of initial humidity on shrinkage during drying of boards without binders]. Molodye uchenye v reshenii aktual'nykh problem nauki [Young Scientists in Solving Current Problems of Science]. Krasnoyarsk: Sibirskiy gosudarstvennyy universitet nauki i tekhnologii imeni akademika M.F. Reshetneva, 2022, pp. 289–291.
- [38] Ermolin V.N., Kazitsin S.N., Bayandin M.A., Namyatov A.V. *Razrabotka rezhima gidrodinamicheskoy aktivatsii drevesnykh chastits s tsel'yu polucheniya plit bez svyazuyushchikh veshchestv* [Development of a regime of hydrodynamic activation of wood particles in order to obtain boards without binders]. Khvoynye boreal'noy zony [Conifers of the boreal zone], 2017, v. 35, no. 3–4, pp. 79–83.
- [39] GOST 10632–2014. *Plity drevesno-struzhechnye. Tekhnicheskie usloviya* [State Standard 10632–2014. Chipboard. Technical conditions]. Moscow: Standardinform, 2014, 16 p.
- [40] Puchkov B.V. *Izmel'chenie syr'ya dlya drevesnykh plit* [Grinding raw materials for wood boards]. Moscow: Lesn. prom-st', 1980, 117 p.
- [41] Modlin B.D., Otlev I.A. *Proizvodstvo drevesnostruzhechnykh plit* [Production of chipboard]. Moscow: Vysshaya shkola, 1977, 216 p.
- [42] GOST 27678–2014 *Plity drevesnye i fanera. Perforatornyy metod opredeleniya sodержaniya formal'degida* [State Standard 27678-2014 Wood boards and plywood. Perforating method for determination of formaldehyde content]. Moscow: Standardinform, 2015, 7 p.

Authors' information

Ostryakova Valentina Aleksandrovna✉ — pg., Head of Laboratory of the Composite Materials and Wood Science department, Siberian State University of Science and Technology named after M.F. Reshetnev, ostryakova_va@sibsau.ru

Ermolin Vladimir Nikolaevich — Dr. Sci. (Tech.), Professor, Head of the Chair of Composite Materials and Wood Science Technologies of Siberian State University of Science and Technology named after academician M.F. Reshetnev, ermolinvn@sibsau.ru

Bayandin Mikhail Andreevich — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of Composite Materials and Wood Science Technology Department, Siberian State University of Science and Technology named after academician M.F. Reshetnev, bayandinma@sibsau.ru

Received 01.03.2023.

Approved after review 30.05.2023.

Accepted for publication 28.11.2023.

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