

ЛЕСНОЙ ВЕСТНИК / FORESTRY BULLETIN

Научно-информационный журнал

№ 5 ' 2023 Том 27

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

Деглиз Ксавье, д-р с.-х. наук, профессор, Академик IAWQ, 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, Лесотехнический университет, Болгария, Варна

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

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

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

работе Лесотехнического университета, София, Болгария

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. Раяжской

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 26.09.2023

Тираж 600 экз.

Заказ №

Объем 23,75 п. л.

Цена свободная

LESNOY VESTNIK / FORESTRY BULLETIN

Scientific Information journal

No. 5 ' 2023 Vol. 27

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

Zalozov Sergey Veniaminovich, Professor, Dr. Sci. (Agric.), USFEU, Ekaterinburg

Zaprudnov Vyacheslav Il'ich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow

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., Professor, University of Forestry, Bulgaria, Sofia

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

Martynyuk Aleksandr Aleksandrovich, Academician of the RAS, Dr. Sci. (Agric.), VNIILM, Moscow

Melekhov Vladimir Ivanovich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), Academician of the Russian Academy of Natural Sciences, NARFU, Arkhangelsk

Moiseyev Aleksandr Nikolaevich, Senior Researcher, European Forest Institute, Joensuu, Finland

Nakvasina Elena Nikolaevna, Professor, Dr. Sci. (Agric.), Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Higher School of Natural Sciences and Technology, Arkhangelsk

Niemz Peter, Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h.c., Prof. for Wood Physics, ETH Zurich (Swiss Federal Institute of Technology in Zurich; Eidgenossische Technische Hochschule Zurich)

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

Pasztor, 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

Fedotov Gennadiy Nikolaevich, Dr. Sci. (Biol.), Lomonosov Moscow State University, 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 26.09.2023
Circulation 600 copies
Order №
Volume 23,75 p. p.
Price free

СОДЕРЖАНИЕ

ЛЕСОВЕДЕНИЕ, ЛЕСОВОДСТВО И ТАКСАЦИЯ ЛЕСА

Черных В.Л., Черных Л.В., Черных Д.В., Шутов В.А. Рентный подход как метод повышения эффективности лесной отрасли	5
Дмитриев Е.В., Мельник П.Г., Донской С.А., Кондранин Т.В. Повышение эффективности текстурной сегментации лесного полога по изображениям сверхвысокого пространственного разрешения	25
Дубенок Н.Н., Лебедев А.В., Гостев В.В. Регрессионные модели смешанных эффектов зависимости высоты от диаметра ствола в сосновых древостоях европейской части России	37
Макимова О.В., Кухта А.Е., Коротков С.А. Воздействие черного углерода и других климатических факторов на линейные приросты сосны обыкновенной (<i>Pinus sylvestris</i> L.) на территории заповедника «Кивач»	48
Сибиркина А.Р., Лихачев С.Ф. О лесных пожарах в лесах Челябинской области за 2018–2021 годы и анализ требований к воспроизводству лесов в лесохозяйственном регламенте	60
Соболев А.Н., Феклистов П.А., Грязькин А.В., Гаврилова О.И. Особенности ассимиляционного аппарата изолированных популяций сосны (Большой Соловецкий остров)	74
Якимов М.В., Абсалямов Р.Р., Якимова В.Ю. Влияние таксационных показателей насаждений на цветение липняков в Удмуртской Республике	82

ЛЕСНЫЕ КУЛЬТУРЫ, СЕЛЕКЦИЯ И ГЕНЕТИКА

Осипенко А.Е., Белов Л.А., Башегуров К.А., Залесов С.В. Приживаемость культур сосны кедровой сибирской (<i>Pinus sibirica</i> Du Tour.) в условиях Ханты-Мансийского автономного округа — Югры	92
Белова А.И., Лебедев Е.В., Хамитов Р.С. Влияние метеорологических условий на рост культур ели с закрытой корневой системой	100
Иванова Е.Е., Бабич Н.А. Сигмоидные функции в моделировании хода роста по высоте культур сосны обыкновенной	109
Магомедова Б.М. Рост и развитие сеянцев декоративных древесных видов в низменном Дагестане	117
Сунгурова Н.Р., Страздаускене С.Р., Стругова Г.Н., Макаров С.С., Бессчетнов В.П. Морфометрические показатели плодов и качество семян некоторых представителей рода <i>Rosa</i> L.	127

ЭКОЛОГИЯ И ЗАЩИТА ЛЕСА

Железова С.В. Инструментальный мониторинг дехромации листвы каштана конского обыкновенного при повреждении охридским минером	138
Попов А.В., Велисевич С.Н. Погодные условия, способствующие заложению шишек у сосны кедровой сибирской (<i>Pinus sibirica</i> Du Tour)	149
Садыкова Г.А. Древесная растительность аридных территорий Дагестана	160

БИОЛОГИЧЕСКАЯ РЕКУЛЬТИВАЦИЯ И МОНИТОРИНГ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

Горбунова В.Д., Менщиков С.Л. Макроэлементный состав листьев березы повислой (<i>Betula pendula</i> Roth) в градиенте аэротехногенного загрязнения АО «Карабашмедь»	170
Потапенко А.М., Машков И.А., Толкачева Н.В., Судник А.В. Современное состояние гидролесомелиоративных систем в лесном фонде Беларуси в условиях изменяющегося климата	179

CONTENTS

SYLVICULTURE, FORESTRY AND FOREST ESTIMATION

Chernykh V.L., Chernykh L.V., Chernykh D.V., Shutov V.A. Rental approach to forest resources assessment as a basis for increasing timber complex efficiency	5
Dmitriev Y.V., Melnik P.G., Donskoy S.A., Kondranin T.V. Improving efficiency of tree canopy texture segmentation by using very high spatial resolution satellite images	25
Dubenok N.N., Lebedev A.V., Gostev V.V. Mixed-effect regression models of height versus trunk diameter dependence in pine stands in european part of Russia	37
Maksimova O.V., Kukhta A.E., Korotkov S.A. Black carbon and other climatic factors impact on Scots pine (<i>Pinus sylvestris</i> L.) linear increments in «Kivach» reserve	48
Sibirkina A.R., Likhachev S.F. Forest fires in the Chelyabinsk region forests for 2018–2021 and requirements analysis for forest reproduction in forest regulations	60
Sobolev A.N., Feklistov P.A., Gryaz'kin A.V., Gavrilova O.I. Assimilation apparatus peculiarities of isolated pine populations (Bolshoy Solovetsky island)	74
Yakimov M.V., Absalyamov R.R., Yakimova V.Y. Influence of plantings taxation indicators on linden trees flowering in Udmurt Republic	82

FOREST CROPS, BREEDING AND GENETICS

Osipenko A.E., Belov L.A., Bashegurov K.A., Zalesov S.V. Siberian Stone pine (<i>Pinus sibirica</i> Du Tour.) survival capacity in Khanty-Mansi autonomous okrug, Yugra	92
Belova A.I., Lebedev E.V., Khamitov R.S. Influence of meteorological conditions on spruce crops growth with root-balled tree system	100
Ivanova E.E., Babich N.A. Sigmoid functions in modeling Scots pine growth course in height	109
Magomedova B.M. Growth and development of ornamental tree species seedlings in lowland Dagestan	117
Sungurova N.R., Strazdauskene S.R., Strugova G.N., Makarov S.S., Besschetnov V.P. Genus <i>Rosa</i> L. fruits and seed quality morphometric indices	127

ECOLOGY AND FOREST PROTECTION

Zhelezova S.V. Horse chestnut foliar dechromation instrumental monitoring damaged by <i>Cameraria ohridella</i>	138
Popov A.V., Velisevich S.N. Weather conditions favouring cone initiation for Siberian stone pine (<i>Pinus sibirica</i> Du Tour)	149
Sadykova G.A. Woody vegetation on arid Dagestan territories	160

BIOLOGICAL RECLAMATION AND MONITORING OF DISTURBED LANDS

Gorbunova V.D., Menshchikov S.L. Silver birch (<i>Betula pendula</i> Roth) leaves macroelement composition in aerotechnogenic pollution by «Karabashmed» gradient	170
Potapenko A.M., Mashkov I.A., Tolkacheva N.V., Sudnik A.V. Current state of hydroforest ameliorative systems in forest fund of Belarus under changing climate conditions	179

РЕНТНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ЛЕСНЫХ РЕСУРСОВ КАК ОСНОВА ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛЕСНОГО КОМПЛЕКСА

В.Л. Черных, Л.В. Черных[✉], Д.В. Черных, В.А. Шутов

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет» (ПГТУ, Волгатех), Россия, 424000, Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, д. 3

ChernyhLV@volgatech.net

Приведены результаты вычислительного эксперимента по расчету стоимости древесины на корню на лесном участке, расположенном на территории Ямбаторского участкового лесничества Мари-Турекского лесничества Республики Марий Эл. Лесной участок отнесен к району хвойно-широколиственных лесов европейской части Российской Федерации. В целом леса считаются высокопродуктивными с преобладанием березняков и липняков, а доминирующими типами леса являются липово-кисличниковый и липово-широкотравный, занимающие 71,5 % от площади покрытых лесной растительностью земель. Вычислительный эксперимент выполнен с использованием автоматизированной информационной системы «Aispol», предназначенной для формирования базы данных лесотаксационной характеристики, документационного и картографического обеспечения лесоустроительного проектирования объекта лесоустройства или лесного участка. Определено, что природная рента на лесном участке составляет 27,6 %, а с учетом нормативной прибыли рента равна 39,7 %. Установлено, что относительная величина минимальных ставок платы за древесину, отпускаемую на корню, для экспериментального лесного участка составляет 1,5 % рыночной стоимости сортиментов. Предложенный алгоритм рентного подхода к расчету стоимости леса на корню в целом позволяет учесть основные рентообразующие факторы и повысить эффективность ведения лесного хозяйства с точки зрения государственной политики, а также установить равные экономические возможности для лесопользователей.

Ключевые слова: лесная рента, ценообразование, эффективность, сортимент, аренда

Ссылка для цитирования: Черных В.Л., Черных Л.В., Черных Д.В., Шутов В.А. Рентный подход как метод повышения эффективности лесной отрасли // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 5. С. 5–24. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-5-5-24

В настоящее время с развитием рынка круглых лесоматериалов актуальность изучения и ценообразования в лесной отрасли является важным вопросом в сфере научных исследований. В связи с изменениями законодательного характера, произошедшими после введения в 2007 г. Лесного кодекса Российской Федерации, повысилась значимость институционального подхода в лесном хозяйстве [1].

Административная реформа и разделение полномочий в лесном хозяйстве обусловили необходимость пересмотра методик и нормативно-правовых документов по управлению лесами. На практике наличие «провалов» рынка объясняется тем, что пользователи лесных ресурсов допускают отклонения в решении социальных и экологических задач, а также нарушают права пользования лесными, водными и земельными ресурсами [2–4]. Это доказывает важность разработки новых подходов к определению стоимости лесных ресурсов.

Произошедшая в результате законодательных изменений замена рентной модели на модель арендного хозяйства показала свою неэффек-

тивность с точки зрения социальной политики государства и лесовосстановления на арендных лесных участках [5–7].

С 2007 г. ведение лесного хозяйства в России перешло на арендную модель, применение которой привело к снижению эффективности использования лесных ресурсов. Аналитики отмечают, что такое положение связано с недооценкой лесных ресурсов, а простое повышение лесных такс, по которым рассчитывается минимальная арендная плата, не отвечает рыночным отношениям. Известно, что доля арендной платы в готовой продукции из древесины в виде круглых лесоматериалов ниже 10 %, а по отношению, скажем, к фанере — ниже 1 %. Например, Eismont O. и Petrov A.P. [5] отмечают, что в Российской Федерации «...доля рентных платежей за природные ресурсы в доходах бюджета составляет менее 4 % консолидированного бюджета».

Для оценки лесных ресурсов многие экономисты предлагают рентный подход, который направлен на получение экономического эффекта при использовании лесов с учетом повышения их продуктивности в будущем. Лесные ресурсы и их продуктивность зависят от многих факторов: лесорастительного района, древесной породы,

средней высоты и среднего диаметра элемента леса, густоты, запаса, класса товарности, санитарного состояния древостоев, класса бонитета, возрастной структуры, происхождения и др. Следовательно, высокопродуктивные древостои при заготовке древесины имеют наибольшую природную ренту, а низкобонитетные древостои с худшими условиями роста дадут минимальную или нулевую природную ренту (по причине экономической недоступности ресурсов).

России необходима новая институциональная модель в лесной сфере, направленная на повышение обеспечения высокого качества государственного управления национальным рынком лесных ресурсов.

Таким образом, все изложенное выше подтверждает актуальность рассматриваемого направления исследования.

Цель работы

Цель работы — рассмотрение сущности, классификации и анализ подходов к ценообразованию в лесном хозяйстве, эффективности системы ценообразования в лесной отрасли, совершенствование системы оценки леса на корню с использованием рентного подхода при заготовке древесины на арендном лесном участке.

Объект и методика исследования

Объект исследования — лесной участок Мари-Турекского лесничества Республики Марий Эл и система ценообразования в лесной отрасли, а также вопросы повышения эффективности ее функционирования.

Предметом исследования является анализ системы ценообразования в лесном хозяйстве и системы мероприятий, направленных на повышение эффективности системы ценообразования.

Основными задачами исследований являются: изучение общей характеристики сущности ценообразования в лесном хозяйстве; выполнение анализа подходов к ценообразованию в лесном хозяйстве в соответствии с классификационными признаками; изучение основных методов ценообразования в лесном хозяйстве; обоснование рентного подхода для определения стоимости леса на корню; разработка модели и проведение вычислительного эксперимента по определению ренты от использования лесов в целях заготовки на арендном участке.

Результаты исследований базируются на следующих методах: поиск, изучение и анализ литературных источников, обобщение и синтез таксационной характеристики лесных насаждений, экспертная оценка рыночной стоимости круглых лесоматериалов и сортиментов, вычислительный эксперимент.

Исследование обосновано статическими данными о состоянии лесных ресурсов Российской Федерации и выделенной картографической базой данных Ямбаторского лесного участка Мари-Турекского лесничества Республики Марий Эл. Вычислительный эксперимент выполнен с использованием автоматизированной информационной системы, предназначенной для формирования базы данных лесотаксационной характеристики, документационного и картографического обеспечения лесоустroительного проектирования объекта лесоустройства или лесного участка «Aispol» [8].

Экспериментальный лесной участок (далее — участок) находится на территории Ямбаторского участкового лесничества Республики Марий Эл. Общая площадь участка 19 565,3 га, что соответствует материалам государственного лесного реестра (Лесохозяйственный регламент Мари-Турекского лесничества Министерства природных ресурсов, экологии и охраны окружающей среды Республики Марий Эл (со сроком действия с 01.01.2019 по 31.12.2028). <http://old.mari-el.gov.ru/minles/Pages/Лесное-хозяйство.aspx>).

Участок по видам целевого назначения лесов распределяется на защитные (18,3 %) и эксплуатационные (81,7 %) леса.

В защитных лесах допускается применение сплошных рубок в случае, если выборочные рубки не обеспечивают замену лесных насаждений, утрачивающих возложенные на них функции, на насаждения, обеспечивающие сохранение целевых функций защитных лесов.

Участок на 96,51 % покрыт лесной растительностью. В составе не покрытых лесом земель преобладают несомкнувшиеся лесные культуры — 0,9 %. Спелые и перестойные насаждения имеют запас 2038,9 тыс. м³ на площади 7,73 тыс. га, в том числе в эксплуатационных лесах, без особо защитных участков леса: хвойные по запасу составляют 38,2 тыс. м³ на площади 142,4 га, мягколиственные — 1314 тыс. м³ на площади 4717,9 га.

На территории объекта исследований, находящегося под влиянием южного и юго-западного переноса воздушных масс, сформирован умеренно континентальный климат. Среднее количество осадков в разные годы варьирует от 350 до 500 мм.

По данным сайта «Погода в мире» (<https://global-weather.ru/archive/mari-turek/july>) самым теплым месяцем года в Мари-Турекском районе Республики Марий Эл является июль со средней температурой воздуха +21,9 °С, а самым холодным — январь со средней температурой –23,4 °С.

Согласно приказу Рослесхоза от 18 августа 2014 года № 367 «Об утверждении перечня лесорастительных зон Российской Федерации и

перечня лесных районов Российской Федерации» леса Мари-Турекского лесничества отнесены к району хвойно-широколиственных (смешанных) лесов европейской части Российской Федерации.

Самыми высокопроизводительными в лесничестве являются лиственные древостои. Насаждения высших классов бонитета составляют 83,4 % площади покрытых лесной растительностью земель.

Наиболее распространенным лесорастительным условием установлена свежая сурамень. Доминирующими типами леса считаются липово-кисличниковый и липово-широкотравный, занимающие 71,5 % площади покрытых лесной растительностью земель.

В целом можно констатировать, что леса Мари-Турекского лесничества высокопродуктивные с преобладанием березняков и липняков.

Результаты и обсуждение

Согласно определению понятия «цена» по И.Л. Ерухимович, цена есть денежное выражение стоимости товара, а стоимость каждого конкретного товара есть воплощенный и овеществленный в нем общественный труд. Ценообразование выполняет учетную, стимулирующую, регулируемую и распределительную функцию [9].

В Российской Федерации при внедрении арендной модели в лесном хозяйстве отмечается нарушение распределительной функции: распределение дохода происходит в пользу субъектов бизнес-среды, а не в пользу государства.

Рыночное поведение субъектов бизнес-среды, наблюдаемое в России, имеет все признаки неформальных институтов [10], поэтому принципиально важно решить задачу определения степени рассогласования неформальных норм и формальных правил в отрасли лесного хозяйства по вопросу формирования цены.

Многие исследователи утверждают, что процесс формирования цены на лесные ресурсы сложный и трудоемкий по следующим причинам:

- вследствие масштабности оценки, поскольку обширные территории России заняты лесами;
- сложности оценки в связи с необходимостью обработки и анализа большого объема информации;
- необходимости привлечения специалистов, обладающих узкими профессиональными знаниями и редкими навыками, которые требуются для проведения исследований.

Государству необходимы денежные средства для финансирования ресурсосберегающей политики в направлении воспроизводства лесных ресурсов как неотъемлемой составляющей при формировании цены на древесину, являющуюся государственной собственностью. Таким

образом, при организации и ведении лесного хозяйства одним из важных аспектов является ресурсосберегающая составляющая.

Еще одной важной составляющей при формировании цены на лесные ресурсы являются средства, необходимые для реализации мероприятий по воспроизводству леса, поскольку они позволяют получить прибыль на перспективу. Проведение мероприятий по восстановлению и воспроизводству леса обеспечит дальнейшее получение прибыли от реализации лесных ресурсов.

Существенное значение имеет при этом повышение эффективности восстановления и воспроизводства леса посредством аккумулирования финансовых ресурсов в специальный ресурсосберегающий фонд через амортизационные отчисления. На средства фонда можно приобрести основные средства производства и оборудование для обработки почвы и посадки леса.

В 2007 г. в сфере лесного хозяйства произошли институциональные преобразования: вступил в действие Лесной кодекс Российской Федерации. В результате ведение лесного хозяйства перешло на арендную модель, что привело к снижению эффективности использования лесных ресурсов [1].

Согласно определению, данному Д. Нордом [11], преобразования представляют собой совокупность правил и механизмов, обеспечивающих выполнение установленных норм, а также включают в себя поведенческие нормы, структурирующие осуществляемые между людьми взаимодействия, что применимо и к сфере лесного хозяйства.

Существующих в настоящее время формальных правил, неформальных ограничений и способов обеспечения действенности ограничений в лесной отрасли недостаточно для эффективной реализации государственной ресурсосберегающей политики.

Низкая эффективность арендной модели с точки зрения государственного управления предполагает необходимость институциональной реструктуризации и разработку принципиально новой модели ведения деятельности в сфере лесного хозяйства, в основу которой будут положены наиболее эффективные принципы и подходы с точки зрения обеспечения высокого качества государственного управления национальным рынком лесных ресурсов.

Таким образом, ценообразование в лесной отрасли предполагает наличие трех экономических составляющих, необходимых для реализации эффективной государственной политики: 1) социальной; 2) воспроизводственной; 3) инновационной.

Вопросы ценообразования в лесном комплексе в настоящий момент носят дискуссионный характер.

Управление лесной отраслью предполагает использование различных подходов для оценки лесных ресурсов, в частности сравнительного, затратного, доходного, системного, рентного.

Н.И. Животягина, Н.В. Орехова, Н.В. Казанцева в работе [12] проанализировали структурный, затратный и доходный подходы. Их точка зрения: «Сравнительный подход имеет сложности применения при предоставлении лесных участков в аренду. Затратный подход предполагает долговременный учет затрат и позволяет учитывать расходы при долговременном периоде выращивания леса» [12]. По мнению авторов статьи [12], в лесном хозяйстве наиболее востребован доходный подход.

Затратный и сравнительный подходы, по оценке авторов [12], малоприменимы по причине сложностей, связанных с долгосрочностью проведения расчетов, так как время выращивания леса составляет от 100 до 180 лет. Участки леса, как правило, разнородны по своему составу. На лесосеменных плантациях, по мнению исследователей [12], допустимо также применение затратного подхода.

Согласно расчетам [12], коэффициент капитализации определяется путем надбавок к безрисковой ставке с учетом надбавок за различные виды рисков, а также скидок населению. Так, ставка капитализации в лесной отрасли составляет 2...5,6 %.

Ю.В. Путятинская, Ю.М. Султанов в работе [13] подчеркивают исторически важное значение, которое имеет сфера лесного хозяйства в государственной экономике. В настоящей работе представлены стандартные подходы, применяемые в лесном хозяйстве: затратный, сравнительный и доходный. В результате анализа преимуществ и недостатков сравнительного подхода авторы [13] выбрали в качестве оптимального подхода доходный. По их мнению, это наилучший подход, поскольку он позволяет учесть затраты при неравномерности поступления доходов.

Важное мнение изложено в работе А.Г. Столбова [14]: автор считает, что нарушение прав пользования биоресурсами при решении общественных, социальных и экономических задач является существенным «провалом» рынка. Он предлагает использовать системный подход в совокупности с комплексным анализом статистических данных. В основе системного подхода лежит комплексная оценка различных факторов влияния на оценку биоресурсов. Рассматривая модернизацию системы управления рациональным использованием природных ресурсов, А.Г. Столбов предложил обоснование дифференцированных ставок рентных платежей за использование водных биологических ресурсов [14].

Анализ указанной проблематики проводили также зарубежные ученые, в частности Дж. Миеттинен, М. Олликайнен, М. Ниеминен, Л. Вальста, которые рассматривали возможность применения затратного подхода. Они провели расчеты предельных издержек для обоснования эффективности водной защиты в торфяных районах Финляндии [15].

В табл. 1 представлены подходы к ценообразованию в лесном хозяйстве и их исследователи.

Т а б л и ц а 1

Подходы к оценке лесных ресурсов

Подход к ценообразованию	Авторы
Сравнительный	Путятинская Ю.В., Султанов Ю.М. [13]
Затратный	Животягина Н.И., Орехова Н.В., Казанцева Н.В. [12], Миеттинен Дж., Олликайнен М., Ниеминен М., Вальста Л. [15], Данеску Т., Калеан И., Сандру Р. [16]
Доходный	Путятинская Ю.В., Султанов Ю.М. [13]
Системный	Столбов А.Г. [14]
Математический	Мозер П., Вибранс А.С., МакРобертс Р.Е., Нассет Э., Гобаккен Т., Киричи Г., Мура М. и Марчетт М. [17]
Рентный	Кочурова Л.И. [3], Козырева Г.Б. [18], Каштелян Т.В. [19]

Рентный подход к оценке леса, предлагаемый Л.И. Кочуровой [3], предполагает возврат к государственным институтам, что имеет социальный характер и ведет к более справедливому распределению доходов между населением и предпринимателями, которым в настоящее время достается большая часть доходов от использования лесных ресурсов.

Возврат к государственным институтам предусматривает увеличение государственного контроля, сокращение предпринимательской активности рыночных субъектов. В качестве инструментов контроля государственные институты, как правило, применяют меры барьерного характера.

Административные барьеры и их регулирующая функция будут важной составляющей при реализации рентного подхода в лесном хозяйстве, осуществляемой посредством установления государством экономических барьеров в финансово-кредитных, налоговых, инвестиционных, научно-технических и других формах.

Таким образом, в сфере лесного хозяйства применяются различные подходы к ценообразованию: сравнительный, затратный, доходный, системный, математический и рентный, каждый

Т а б л и ц а 2

Анализ преимуществ подходов к ценообразованию в лесном хозяйстве

Подход к ценообразованию	Преимущества подхода
Сравнительный	Позволяет проводить исследования лесных участков по аналогии на основе выбранных признаков [13]
Затратный	Позволяет учитывать затраты, исходя из длительности периода выращивания леса [12, 15, 16]
Доходный	Учитывает экономический эффект от начала производственной деятельности до итогового результата [13]
Системный	Позволяет дать комплексный анализ статистических данных для исследования состояния природных ресурсов (лесных, водных, земельных и др.) [14]
Математический	Обеспечивает возможность точного проведения расчетов [17]
Рентный	Направлен на ресурсосбережение и предполагает возврат к государственным институтам управления лесным хозяйством [3, 18, 19]

Т а б л и ц а 3

Анализ недостатков подходов к ценообразованию в лесном хозяйстве

Подход к ценообразованию	Недостатки подхода
Сравнительный	Разнородный состав лесных ресурсов при подборе аналогов лесных участков [14]
Затратный	Сбор информации для проведения расчетов по выращиванию леса в условиях длительного периода [1, 2, 7]
Доходный	Большие затраты времени на трансформацию отрицательных финансовых потоков в положительные для оценки доходов от выращивания и реализации леса [14]
Системный	Экономический инструментарий как косвенный метод воздействия при принятии управленческих решений [16]
Математический	Количественный характер подхода, не позволяющий учитывать признаки качественного характера [3]
Рентный	Сокращение роли рынка, снижение предпринимательской активности [8–10]

из которых обладает определенными преимуществами и недостатками.

Со стороны государства назрела необходимость решения проблемы управления рыночной прибылью в сфере лесного хозяйства. Одним из наиболее подходящих способов решения данного вопроса в условиях необходимости институциональной реструктуризации следует считать *рентный подход*.

Для обоснования данной рекомендации проведем подробный анализ существующих на сегодняшний день подходов, подробно рассмотрев их преимущества и недостатки (табл. 2, 3).

Анализ табл. 2 показывает, что перечисленные выше подходы имеют следующие преимущества: комплексный характер исследований (системный подход), возможность учета экономического эффекта (доходный подход), точность расчетов и применение формул (математический подход), ориентацию на справедливое перераспределение доходов и ресурсосбережение (рентный подход).

Недостатками рассмотренных подходов являются следующие: сложность сбора информации (сравнительный подход), сложность учета в условиях долговременности выращивания лесов (затратный и доходный подходы), отсутствие

качественного анализа (математический подход), снижение предпринимательской активности (рентный подход).

Для оценки лесных ресурсов экономисты предлагают *рентный подход*, направленный на ресурсосбережение посредством получения экономического эффекта для государства от использования лесов с учетом повышения их продуктивности в будущем [20, 21].

Изучение рентного подхода направлено на решение проблемы определения прибыли от рыночной деятельности предприятий и более справедливого распределения доходов в пользу государства, тогда как в сложившейся ситуации большая часть доходов распределяется в пользу коммерческого сектора. Рентный подход позволяет использовать полученный доход для воспроизводства и восстановления лесного фонда Российской Федерации.

Под рентой (лат. *gendere* — приносить доход) понимают «регулярно получаемый годовой доход с капитала, земли, лесных ресурсов, имущества, не требующий от получателя предпринимательской деятельности» [22].

Понятие ренты проанализировано в трудах многих зарубежных и российских ученых.

Так, представитель классической науки А. Смит рассматривает особенности получения ренты от земельных участков [10]. Современный представитель экономической науки А.А. Аузан отмечает, что захват ренты создает условия для преуспевания субъектов, деятельность которых основана на неформальных нормах [23]. Ученые Л.И. Кочурова [3], Г.Б. Козырева [18] подчеркивают значимость лесной ренты при распределении интересов и финансовых потоков, Т.В. Каштелян [19, 24] характеризует проблематику с точки зрения отсутствия институциональных основ ренты природного характера, в частности учета дифференцирующих факторов, например транспортной составляющей.

В статье «Научное видение рыночной прибыли» Л.И. Кочурова [3] представила методологию определения составных частей ренты и возможности их использования в хозяйственной деятельности, где подчеркивается необходимость возврата к государственным институтам управления лесными ресурсами.

Важным преимуществом рентного подхода признается ориентация на справедливое перераспределение доходов между субъектами бизнес-среды и государством, что позволяет государству эффективно выполнять свою функцию [25–28].

Практика применения рентного подхода предполагает возникновение следующих преимуществ:

- учет основных рентиобразующих факторов;
- ресурсосбережение, восстановление и воспроизводство леса;
- справедливое перераспределение прибыли между субъектами рыночной экономики и населением;
- повышение эффективности ведения лесного хозяйства с точки зрения государственной политики.

Рентный подход к определению стоимости леса на корню позволяет учитывать следующие факторы:

- размерные характеристики лесных массивов;
- качественные характеристики леса;
- территориальное расположение лесного участка;
- сортиментную структуру рынка лесных ресурсов;
- конъюнктуру рынка лесных ресурсов;
- условия и объемы мероприятий по охране, защите и воспроизводству лесов и значение нормативной прибыли.

Предложенный подход к расчету стоимости леса на корню в целом позволит учесть основные рентиобразующие факторы и повысить эффективность ведения лесного хозяйства с точки зрения

государственной политики, а также установит равные экономические возможности лесопользователей.

Наиболее важное преимущество, которое обеспечит высокое качество государственного управления национальным рынком лесных ресурсов со стратегической точки зрения, — это ориентация на справедливое перераспределение доходов между бизнесом и государством.

В соответствии со ст. 25 Лесного кодекса Российской Федерации, Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации для управления лесами использует арендную модель, включающую использование лесных ресурсов, выполнение мероприятий по охране, защите и воспроизводству лесов на арендованном лесном участке. Отметим, что наиболее распространенным видом использования лесов в России является заготовка древесины.

Рассматриваемый рентный подход к расчету стоимости лесных ресурсов при заготовке древесины учитывает следующие лесоводственные и экономические факторы:

- лесорастительные условия и продуктивность древостоев;
- биологию древесной породы — элемента леса;
- товарную структуру древостоев по элементам леса;
- сортиментную структуру древостоев по элементам леса;
- территориальное расположение лесного участка;
- рыночную стоимость круглых лесоматериалов;
- планируемые объемы мероприятий по использованию, охране и защите лесов;
- способы рубок и лесовосстановления;
- нормативная прибыль и др.

Лесные ресурсы и их продуктивность зависят от многих факторов: лесорастительного района, древесной породы, средней высоты и среднего диаметра элемента леса, густоты, запаса, класса товарности, санитарного состояния древостоев, класса бонитета, возрастной структуры, происхождения и др.

Высокопродуктивные древостои при заготовке древесины имеют наибольшую природную ренту, а низкобонитетные древостои с худшими условиями роста дадут минимальную или нулевую природную ренту (экономически недоступные ресурсы). Все изложенное выше подтверждает актуальность рассматриваемого вопроса.

В результате проведенных исследований предложен рентный подход к определению стоимости древесины на корню. При разработке институциональной модели рентного подхода на основе



Рис. 1. Структурно-логическая институциональная модель рентного подхода в лесном хозяйстве

взаимодействия факторов использования лесов возникает необходимость объединения усилий по взаимодействию властей на федеральном, региональном и местном уровнях управления.

При создании модели, направленной на улучшение рентного подхода к ценообразованию в лесном хозяйстве, была определена совокупность из семи групп основных факторов влияния:

- 1) лесорастительные условия и продуктивность древостоев;
- 2) биология древесных пород;
- 3) территориальное местоположение лесного участка;
- 4) товарная и сортиментная структура рынка лесных ресурсов.
- 5) конъюнктура рынка лесных ресурсов;
- 6) условия и объем мероприятий по охране, защите и воспроизводству лесов;
- 7) значение нормативной прибыли.

Предложенная структурно-логическая институциональная модель рентного подхода в лесном хозяйстве сформирована на основе факторов рентного подхода, влияющих на дальнейшее развитие и успешное функционирование лесной отрасли и государства в целом (рис. 1).

В рамках данной модели предполагается снижение таких отрицательных внешних эффектов, как снижение показателей искусственного и естественного лесовосстановления, рост выбросов загрязняющих атмосферу веществ, лесных пожаров и поражение лесов вредными организмами. В.В. Черных [4] подчеркивает, что сфера лесного хозяйства является отраслью, от состояния которой зависит благополучие всего государства. Необходимость проведения мероприятий, направленных на повышение эффективности управленческой деятельности в данной сфере лесного хозяйства, признана очевидной.

При совершенствовании рентного подхода необходимо придерживаться такого способа формирования модели, который не противоречит стратегическим интересам государства и интересам населения.

Согласно методическим указаниям по разработке лесных такс, «минимальные ставки лесных податей за пользование лесными ресурсами (в дальнейшем — лесные таксы, или ставки лесных податей, или корневые цены) в условиях свободного рыночного ценообразования на продукцию, получаемую в результате использования лесных ресурсов, рассчитываются как разница между рыночной ценой лесной продукции и суммой затрат, необходимых для получения лесной продукции, и нормальной прибыли лесопользователя» (Методические рекомендации по расчету минимальных ставок лесных податей и ставок арендной платы при передаче участков лесного фонда в аренду. 1994).

Предлагаемый нами алгоритм [29] определения стоимости леса на корню имеет следующий вид:

- а) выбор лесного участка;
- б) выявление основных факторов, оказывающих влияние на стоимость круглых лесоматериалов;
- в) установление рыночной стоимости круглых лесоматериалов по элементам леса;
- г) определение затрат на заготовку 1 м³ древесины по элементам леса;
- д) исчисление затрат на транспортировку 1 м³ древесины;
- е) установление нормативной (нормальной) рентабельности на лесозаготовку и выполнение мероприятий по ведению лесного хозяйства;
- ж) проведение вычислительного эксперимента;
- з) анализ и представление полученных результатов определения ренты.

Расчет ренты (R_{iv}) конкретного лесного выдела выполняется по уравнению

$$R_{iv} = PCS - (C_{tr} + C_z + C_{ozl}) - (C_{tr} + C_z + C_{ozl})PN,$$

где PCS — рыночная стоимость сортиментов по древесным породам, руб./м³;

C_{tr} — затраты на транспортировку древесины, руб./м³;

C_z — затраты на заготовку древесины, руб./м³;

C_{ozl} — затраты на охрану, защиту и лесовосстановление, руб./га;

PN — нормативная прибыль от совокупных затрат, 0,01 ед.

Для обоснования рентного подхода был проведен вычислительный эксперимент по расчету ренты при использовании лесного участка, расположенного в Ямбаторском участковом лесничестве Мари-Турекского лесничества Республики Марий Эл.

Вычислительный эксперимент выполнялся в среде Aispol [8] в соответствии с приведенным выше алгоритмом расчета стоимости древесных ресурсов на корню.

Рыночная стоимость круглых лесоматериалов по основным древесным породам на 2020 г. определена по экспертной оценке с использованием материалов прайс-листов сети Интернет по Приволжскому федеральному округу.

Затраты на обеспечение проведения мероприятий по охране, защите, воспроизводству лесов в Республике Марий Эл выявлены по материалам открытых источников. Расчеты затрат на ведение лесного хозяйства (приказ Федерального агентства лесного хозяйства от 19 июня 2019 г. № 762 «Об утверждении нормативов затрат на мероприятия по охране, защите и воспроизводству лесов и величин территориальных коэффициентов») выполнены в соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации от 4 декабря 2015 года № 1320 «Об утверждении Методики расчета коэффициента для определения расходов на обеспечение проведения мероприятий по охране, защите, воспроизводству лесов».

Дополнительно выполнена оценка значений коэффициентов затрат на ведение лесного хозяйства на различных лесосеках, выставленных на торги по Республике Марий Эл в 2020 г.

Статистический анализ числовых значений коэффициентов затрат на ведение лесного хозяйства в условиях Республики Марий Эл показал, что среднее значение коэффициента затрат составило 5,27 ед. Это означает, что затраты на ведение лесного хозяйства в 5 раз выше таксовой стоимости леса на корню в условиях Республики Марий Эл. Такое утверждение статистически доказано, так как критерий Стьюдента больше 3 ($t_{st} = 7,2$ ед.). Обращаем внимание на то, что значение измен-

Т а б л и ц а 4

Распределение по категориям затрат лесного участка Ямбаторского участкового лесничества Мари-Турекского лесничества Республики Марий Эл

Показатель	Стоимость	
	млн руб.	%
Затраты на охрану лесов	3,13	0,50
Транспортные затраты	160,28	25,61
Затраты на лесозаготовку	325,05	51,93
Защита и воспроизводство лесов	33,13	5,29
Нормативная прибыль	104,3	16,66
Итого затрат	625,89	100,00

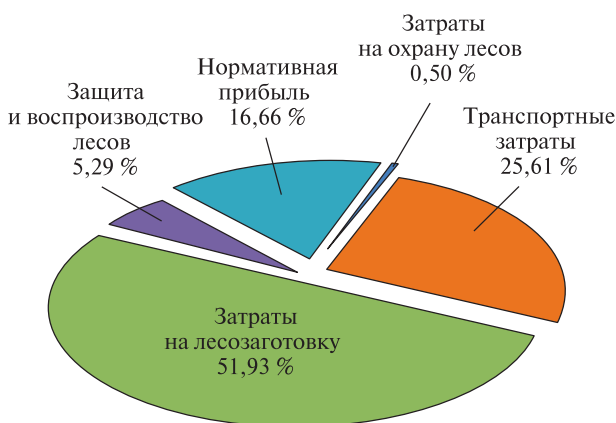


Рис. 2. Распределение затрат на лесном участке Ямбаторского участкового лесничества Мари-Турекского лесничества Республики Марий Эл, переданного в аренду для осуществления заготовки древесины

Т а б л и ц а 5

Рента лесного участка Ямбаторского участкового лесничества Мари-Турекского лесничества Республики Марий Эл по рыночной стоимости

Показатель	Стоимость	
	млн руб.	%
Рыночная стоимость сортимента	864,30	100,00
Всего затрат	625,89	72,42
Рента	238,41	27,58

чивости коэффициента затрат на ведение лесного хозяйства в Республике Марий Эл очень большое (57,0 %) вследствие высокой дифференциации характеристик лесосек: продуктивности лесного насаждения, породной структуры, сортиментной структуры, класса товарности и т. д. Все это и дает основание для совершенствования оценки стоимости леса на корню.

Т а б л и ц а 6

**Сводная ведомость результатов вычислительного эксперимента
по расчету ренты по древесным породам**

Древесная порода	Значение ренты на 1 га, руб.			
	Выборочная рубка	Рубка лесных насаждений при уходе за лесами	Сплошная рубка	Всего
Береза	28955,8	26581,7	93351,1	59555,4
Ель	52384,3	-11526,6	123815,4	1861,7
Липа	55159,0	–	–	55159,0
Ольха серая	–	–	-56558,7	-56558,7
Осина	-16614,4	–	-88430,5	-31383,9
Сосна	108910,5	61928,4	311869,8	70841,8
Среднее значение	40190,7	38520,1	86607,5	47865,3

Все результаты расчетов по каждому таксационному выделу и древесным породам, рыночная стоимость сортиментов, затраты на заготовку и транспортировку древесины, затраты на охрану, защиту и лесовосстановление — представлены в виде базы данных.

Обобщенные результаты вычислительного эксперимента по расчету ренты по древесным породам для Ямбаторского участкового лесничества представлены в табл. 4.

Выявлено распределение затрат по категориям на примере лесного участка, расположенного в Ямбаторском участковом лесничестве. Наибольшая доля 51,93 % приходится на затраты на лесозаготовку. Существенную часть составляют транспортные расходы — 25,61 %. На защиту и воспроизводство лесов направлено 5,29 %, на охрану лесов — 0,5 % от общего количества затраченных средств (рис. 2).

Выполнен расчет ренты с учетом рыночной стоимости сортиментов (табл. 5).

По данным анализа общих значений затрат на проведение всего цикла работ по лесозаготовкам и мероприятиям по ведению лесного хозяйства, на Ямбаторском лесном участке рента составляет 238,4 млн руб., или 27,6 % рыночной стоимости круглых лесоматериалов (см. табл. 5).

Сводные результаты вычислительного эксперимента по расчету ренты по древесным породам на лесном участке Ямбаторского участкового лесничества Мари-Турекского лесничества Республики Марий Эл приведены в табл. 6 и 7.

Сумма всех затрат на участках леса, где проводятся рубки ухода в ельниках, оказалась выше, чем рыночная стоимость сортиментов, на 11 526,6 руб. Это связано с тем, что выход деловой древесины при уходе за лесами в ельниках имеет минимальное значение, а значит, такие мероприятия являются убыточными. Аналогичная ситуация наблюдается и при рубке древостоев осины. Средняя

Т а б л и ц а 7

**Обобщенные результаты вычислительного
эксперимента по расчету стоимости
древесины на корню**

Показатель	Стоимость		
	млн руб.	%	
Рыночная стоимость сортимента	864,3	100,0	
Всего затрат	625,9	72,4	
в том числе	на охрану лесов	3,13	0,4
	транспортные затраты	160,28	18,5
	затраты на лесозаготовку	325,05	37,6
	на защиту и воспроизводство лесов	33,13	3,8
Нормативная прибыль (20 %)	104,3	12,1	
Рента	238,4	27,6	
Таксовая стоимость (действующие ставки)	13,2	1,5	

отрицательная рента на 1 га в древостоях осины составляет 31,4 тыс. руб.

Положительная рента наблюдается по сосне, березе и липе. Средняя рента на весь лесной участок и на ревизионный период положительная — 47,9 тыс. руб. на 1 га.

При определении ренты целесообразно выделить средства, способствующие более рациональному использованию лесных ресурсов и эффективному ведению лесного хозяйства.

Выводы

1. Вычислительный эксперимент по расчету стоимости древесины на корню на лесном участке, расположенном на территории Ямбаторского участкового лесничества Мари-Турекского лесничества Республики Марий Эл показал, что природная рента составляет 27,6 %, а с учетом нормативной прибыли рента составит 39,7 %. Относительная величина минимальных ставок

платы за древесину, отпускаемую на корню для экспериментального лесного участка, составляет 1,5 % рыночной стоимости сортиментов.

2. Предложенный подход расчета стоимости леса на корню в целом позволяет учесть основные рентообразующие факторы и повысить эффективность ведения лесного хозяйства и лесной промышленности с точки зрения государственной политики, а также установить равные экономические возможности лесопользователей.

3. Наиболее важное преимущество, которое обеспечит высокое качество государственного управления национальным рынком лесных ресурсов со стратегической точки зрения, — это ориентация на справедливое перераспределение доходов между бизнесом и государством.

Список литературы

- [1] Лесной кодекс Российской Федерации (ред. от 30.12.2021). М.: ТК Велби, Издательство «Проспект», 2008. 68 с.
- [2] Шварц Е.А. Лесной кодекс: невыполненные обещания и упущенные возможности // Устойчивое лесопользование, 2006. № 4(12). С. 2–7.
- [3] Кочурова Л.И. Научное видение рыночной прибыли // Вестник РЭУ им. Г. В. Плеханова, 2017. № 6 (96). С. 53–65.
- [4] Черных В.В. Особенности и проблемы развития сферы лесного хозяйства в Республике Марий Эл // Проблемы прогнозирования, 2019. № 3. С. 139–147.
- [5] Eismont O., Petrov A.P. Estimation of Timber Rent and the Efficiency of Increasing Rental Payments in Russia. Moscow: EERC, 2002, 54 p.
- [6] Петров А.П. Экономические отношения в лесном хозяйстве: прошлое, настоящее и вызовы будущего // Вопросы лесной науки, 2019. Т. 2, № 1. С. 1–22.
- [7] Петрунин Н.А. Развитие арендных отношений в лесном секторе экономики РФ и их влияние на доходность лесной отрасли // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. 2019. № 1. С. 68–80.
- [8] А.с. 2020612490 РФ. Автоматизированная обработка лесостроительной информации AISPOL. ООО «Марлеспроект»; Д.В. Черных, Л.В. Черных, В.Л. Черных. № 20119667371; заявл. 19.12.2019; зарегистр. 25.02.2020.
- [9] Ерухимович И.Л. Ценообразование. Киев: Изд-во МАУП, 2003. 108 с.
- [10] Смит А. Исследование о причинах и богатстве народов. URL: www.gumer.info/bibliotek_Buks/Econom/smit/smit_1.pdf (дата обращения 02.12.2022).
- [11] Норд Д.С. Институты, институциональные изменения и функционирование экономики. М.: Начала, 1997. С. 63–64.
- [12] Животягина Н.И., Орехова Н.В., Казанцева Н.В. Особенности использования и адаптация подходов к оценке лесных ресурсов в современных экономических условиях // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета, 2011. № 74. С. 496–505.
- [13] Путятинская Ю.В., Султанов Ю.М. Особенности лесного фонда как объект оценки // NovalInfo.ru, 2015. Т. 2. № 32. С. 49–52.
- [14] Столбов А.Г. Формирование организационно-экономического механизма рационального использования водных биологических ресурсов // Вестник МГТУ, 2017. Т. 20. № 3. С. 644–653.
- [15] Miettinen J., Ollikainen M., Nieminen M., Valsta L. Cost function approach to water protection in forestry // Water Resources and Economics, 2019. pp. 1–20.
- [16] Danescu T., Calean I., Sandru R. Measuring the Activity of Internal Audit. Case Study at the Autonomous Administrations in Forestry // Procedia Economics and Finance, 2014, v. 15, pp. 1339–1348.
- [17] Moser P., Vibrans A. C., McRoberts R. E., Nasset E., Gobakken T., Chirici G., Mura M. and Marchetti M. Methods for variable selection in LiDAR-assisted forest inventories // Forestry, 2016, v. 90, pp. 112–124.
- [18] Козырева Г.Б. Институты лесной политики современной России // Экономический анализ: теория и практика, 2019. Т. 18. № 10 (493). С. 1796–1811.
- [19] Каштелян Т.В. Ориентиры воспроизводственных процессов лесного сектора Беларуси в свете теории «переходной» экономики // Веснік Магілеўскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя А.А. Куляшова. Серыя D: Эканоміка, сацыялогія права, 2019. № 1 (53). С. 32–41.
- [20] Богатова Е.Ю., Беспалова В.В. Экономическая оценка древесных и недревесных лесных ресурсов в современных условиях // Проблемы современной экономики, 2019. № 3(71). С. 287–293.
- [21] Третьяков А.Г. Лесная рента и экономическая доступность лесных ресурсов: методологические аспекты // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник, 2015. Т. 19. № 2. С. 153–160.
- [22] Энциклопедический словарь экономики и права. URL: https://dic.academic.ru/dic.nsf/dic_economic_law/13468/РЕНТА (дата обращения 20.01.2022).
- [23] Аузан А.А. Черные и белые клавиши реформ // Стандарты и качество, 2013. № 1. С. 6–9.
- [24] Каштелян Т.В. Рентный механизм управления лесными ресурсами Беларуси: теория и практика // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия D: Экономические и юридические науки, 2019. № 14. С. 60–69.
- [25] Олейник А.Н. Издержки и перспективы реформ в России: институциональный подход. М.: Магистр, 1997. С. 11–18.
- [26] Зулькарнай И.У. Институты присвоения ренты в лесной отрасли // Евразийский юридический журнал, 2017. № 9 (112). С. 357–359.
- [27] Lorincová S., Lipoldová M., Hitka M., Stachová K., Stacho Z., Joniaková Z., Blšťáková J. Defining the differences in corporate culture in wood-processing and forest enterprises // BioResources, 2020, t. 15, no.2, pp. 3320–3343.
- [28] Каштелян Т.В. Особенности рентных отношений в лесном комплексе // Труды БГТУ. Серия 5: Экономика и управление, 2019. № 1 (220). С. 41–48.
- [29] Черных В.В., Черных Л.В., Шутов В.А. Рентный подход по оценке стоимости леса на корню // Научному прогрессу — творчество молодых, 2020. № 2. С. 153–155.

Сведения об авторах

Черных Валерий Леонидович — д-р с.-х. наук, профессор кафедры лесоводства и лесоустройства, ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет» (ПГТУ, Волгатех), ChernyhVL@volgatech.net

Черных Леонид Валерьевич — канд. с.-х. наук, зав. учеб.-исслед. лабораторией «Современные информационные технологии в лесном хозяйстве», ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет» (ПГТУ, Волгатех), ChernyhLV@volgatech.net

Черных Дмитрий Валерьевич — канд. с.-х. наук, вед. программист учеб.-исслед. лаборатории «Современные информационные технологии в лесном хозяйстве», ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет» (ПГТУ, Волгатех), ChernyhDV@volgatech.net

Шутов Владимир Александрович — магистр лесного дела, ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет» (ПГТУ, Волгатех), shutov@gov.mari

Поступила в редакцию 30.03.2023.

Одобрена после рецензирования 23.06.2023.

Принята к публикации 18.07.2023.

RENTAL APPROACH TO FOREST RESOURCES ASSESSMENT AS A BASIS FOR INCREASING TIMBER COMPLEX EFFICIENCY

V.L. Chernykh, L.V. Chernykh[✉], D.V. Chernykh, V.A. Shutov

Volga State Technological University, 3, Lenin sq., 424000, Yoshkar-Ola, Republic of Mari El, Russia

ChernyhLV@volgatech.net

The subject of the research in this paper is the pricing system in the forest complex; essences and classifications of approaches to pricing are considered and analyzed. The purpose of the study is to analyze the currently existing pricing system efficiency in the forest industry, improve the system for assessing forest stands using the rental approach when harvesting timber in a leased forested area. These are the main ideas of the research. Pricing is one of the most important components of the forest industry, since the role of resource price formation is not only to provide the enterprise with revenue, but should also contribute to the effective implementation of the state policy for the forest fund reproduction. This proves the need to develop a methodology that solves the issue of natural resources efficient use. A computational experiment on calculating the cost of producing round timber when renting forests for the purpose of harvesting timber makes it possible to identify rent that contributes to a more rational use of the forest fund. In the field of forestry, various approaches to pricing are used such as comparative, costly, profitable, systemic, mathematical and rental ones. Pricing in the forest industry implies the presence of three economic components necessary for the implementation of an effective state policy, namely the social component, reproduction and innovation. A computational experiment on calculating the cost of a standing crop on a forest plot located on the territory of the Yambatorsky district forestry of the Mari-Turek forestry in the Mari El Republic showed that the natural rent makes up 27,6 %, and taking into account the standard profit, the rent totals 39,7 %. The relative value of the minimum payment rates for standing crop for the trial forest area is 1,5 % of the market value of the assortments. The result of the study is to develop measures aimed at improving the efficiency of the pricing system. The proposed approach to calculating the cost of standing crop as a whole will allow taking into account the main rent-forming factors and increasing the efficiency of forest management from the point of view of the state policy, as well as establishing equal economic opportunities for forest users.

Keywords: forest rent, pricing, efficiency, assortment, rent

Suggested citation: Chernykh V.L., Chernykh L.V., Chernykh D.V., Shutov V.A. *Rentnyy podkhod kak metod povysheniya effektivnosti lesnoy otrasli* [Rental approach to forest resources assessment as a basis for increasing timber complex efficiency]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2023, vol. 27, no. 5, pp. 5–24. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-5-5-24

At present, with the development of the round timber market, the relevance of studying and pricing in the forest industry is an important issue of scientific research. In connection with the legislative changes that occurred after the introduction of the new Forest Code of the Russian Federation in 2007,

the importance of the institutional approach in the field of forestry has increased [1].

The ongoing administrative reform and the division of powers in forestry make it necessary to revise the methods and legal documents for forest management. In practice, the presence of «failures» of the

market is explained by the fact that users of forest resources allow deviations in solving social and environmental problems, as well as violations of the rights to use forest, water, and land resources [2–4]. This proves the need to develop new approaches to determining the value of forest resources.

As a result of legislative changes, the replacement of the rental model with the model of the lease economy has shown its inefficiency in terms of such aspects as the social policy of the state and reforestation on lease forest plots [5–7].

It should be emphasized that since 2007 forest management in Russia has switched to a lease model, the application of which has led to a decrease in the efficiency of forest resource use. Analysts note that this situation is associated with an underestimation of forest resources, and a simple increase in forest taxes, which are used to calculate the minimum rent, does not correspond to market relations. It is known that the share of rent in finished wood products in the form of round timber is below 10 %, and in relation to, say, plywood, it is below 1 %. For example, Eismont O. and Petrov A.P. [5] note that in the Russian Federation «... the share of rent payments for natural resources in budget revenues is less than 4 % of the consolidated budget».

To assess forest resources, many economists propose a rental approach, which is aimed at obtaining an economic effect from the use of forests, taking into account the increase in their productivity in the future. Forest resources and their productivity depend on many factors: forest area, tree species, average height and average diameter of a forest element, density, stock, marketability class, sanitary condition of forest stands, quality class, age structure, origin, etc. Therefore, highly productive forest stands timber harvesting have the highest natural rent, and low quality forest stands with the worst growth conditions will give minimal or zero natural rent (economically inaccessible resources).

Currently, Russia needs a new institutional model in the forest sector, aimed at improving the provision of high quality public administration of the national forest market.

Thus, all of the above confirms the relevance of the research direction under consideration.

Purpose of the work

The purpose of the study is to consider the essence, classification and analysis of approaches to pricing in forestry, the effectiveness of the pricing system currently existing in the forestry industry, improving the standing forest assessment system using the rental approach when harvesting timber on a leased forest plot.

Research objectives: general characteristics of the essence of pricing in forestry; classification and

analysis of approaches to pricing in forestry in accordance with classification criteria; study of the main methods of pricing in forestry; substantiation of the rental approach for determining the cost of standing timber; development of a model and carrying out a computational experiment to determine the rent from the use of forests for the purpose of harvesting on a leased plot.

Object and methods of research

The object of the study is the forest area of the Mari-Turek forestry of the Republic of Mari El and the pricing system in the forest industry, as well as issues of improving the efficiency of its functioning.

The subject of the study is the analysis of the pricing system in forestry and the system of measures aimed at improving the efficiency of the pricing system.

The research results are based on the following methods: search, study and analysis of literary sources, generalization and synthesis of taxation characteristics of forest plantations, expert assessment of the market value of round timber and assortments, computational experiment.

The study is based on static data on the state of the forest resources of the Russian Federation and on a per-unit cartographic database of the Yambatorsky forest area of the Mari-Tureksky forestry of the Republic of Mari El. The computational experiment was carried out using an automated information system designed to form a database of forest taxation characteristics, documentation and cartographic support for forest management design of a forest inventory object or a forest site «Aispol» [8].

The experimental forest area is located on the territory of the Yambatorsky district forestry of the Republic of Mari El. The total area of the site is 19565.3 hectares, which corresponds to the materials of the state forest registry (Forestry regulation of the Mari-Turek forestry of the Ministry of Natural Resources, Ecology and Environmental Protection of the Republic of Mari El (valid from 01.01.2019 to 12.31.2028). <http://old.mari-el.gov.ru/minles/Pages/Лесное-хозяйство.aspx>).

The forest plot is divided into protective (18,3 %) and exploitation (81,7 %) forests according to the types of intended purpose of forests.

It should be noted that in protective forests the use of clear-cuttings is allowed if selective felling does not ensure the replacement of forest plantations that lose their functions with plantations that ensure the preservation of the target functions of protective forests. The forest area is 96,51 % covered with forest vegetation. Non-closed forest plantations predominate in the composition of lands not covered with forests — 0,9 %. coniferous — 38,2 thousand m³ on an area of 142,4 hectares, and softwoods in terms

of stock amount to 1314 thousand m³ on an area of 4717,9 hectares.

A temperate continental climate is formed on the territory of the research object under the influence of the southern and southwestern transfer of air masses. The average amount of precipitation in different years ranges from 350 to 500 mm.

According to the World Weather website (<https://global-weather.ru/archive/mari-turek/july>) the warmest month of the year in the Mari-Turek region of the Republic of Mari El is July with an average temperature of +21,9 °C, and the coldest month is January –23,4 °C.

According to the order of the Federal Forestry Service dated August 18, 2014 No. 367 «On approval of the list of forest growth zones of the Russian Federation and the list of forest regions of the Russian Federation», the forests of the Mari-Turek forestry are assigned to the area of coniferous-broad-leaved (mixed) forests of the European part of the Russian Federation.

It should be noted that deciduous stands are the most productive in forestry. Plantations of the highest quality classes make up 83,4 % of the area covered with forest vegetation.

The most common forest growing conditions are fresh suramen. The dominant forest types are linden-oxalis and linden-broad herbs, occupying 71,5 % of the area covered with forest vegetation.

In general, it can be stated that the forests of the Mari-Turek forestry are highly productive with a predominance of birch and linden forests.

Results and discussion

According to the definition of the concept of «price» given by I.L. Erukhimovich, price is the monetary expression of the value of a commodity, and the value of each specific commodity is the social labor embodied and materialized in it. Pricing performs an accounting, incentive, regulatory and distribution function [9].

In the Russian Federation, when introducing the rental model in forestry, there is a violation of the distribution function: the distribution of income occurs in favor of the subjects of the business environment, and not in favor of the state.

At present, the market behavior of the subjects of the business environment, observed in Russia, has all the signs of informal institutions [10]. In this context, the task of determining the degree of discrepancy between informal norms and formal rules in the forestry sector on the issue of price formation becomes fundamentally important.

Many researchers emphasize that the process of pricing for forest resources is complex and time-consuming for the following reasons:

– *the scale of the assessment*: the vast territories

that our country has are occupied by a large number of forests;

– *the complexity of the assessment*: the need to process and analyze large amounts of information;

– *the need* to attract specialists with narrow specialized knowledge and skills required for the study.

The state needs funds to finance the implementation of a resource-saving policy aimed at the reproduction of forest resources, which should be an integral component in the formation of the price of wood that is state property. Thus, one of the important aspects is the resource-saving component.

The next component in the formation of the price of forest resources is the funds necessary for the implementation of measures aimed at reforestation. The importance of this component is due to the possibility of making a profit for the future. Carrying out activities aimed at the restoration and reproduction of the forest will ensure further profit from the sale of forest resources.

An important point is the possibility of increasing the efficiency of forest restoration and reproduction, which is formed by accumulating financial resources in a special resource-saving fund through depreciation. The fund can be used to purchase fixed assets and equipment for tillage and forest planting.

In 2007, institutional transformations took place in the field of forestry: the new Forest Code of the Russian Federation came into effect. As a result, forest management has switched to a lease model, which has led to a decrease in the efficiency of forest resource use [1].

According to the definition given by D. Nord, an institution is a set of rules and mechanisms that ensure their implementation, as well as behavioral norms that structure interactions between people [11]. This formulation is also applicable to the forestry sector.

The current formal rules, informal restrictions and ways to ensure the effectiveness of restrictions in the forest industry are insufficient for the effective implementation of state policy.

The low efficiency of the lease model from the point of view of public administration suggests the need for institutional restructuring and the development of a fundamentally new model for conducting activities in the field of forestry, which will be based on the most effective principles and approaches in terms of ensuring the high quality of public administration of the national forest market.

Thus, pricing in the forest industry implies the presence of three economic components necessary for the implementation of an effective state policy: social, reproductive and innovative.

Pricing issues in the forest complex are currently debatable. The management of the forest industry involves the use of various approaches to assess forest resources: comparative, costly, profitable, systemic, rental.

Scientists N.I. Zhivotyagina, N.V. Orekhova, N.V. Kazantseva in the work «Peculiarities of using and adapting approaches to assessing forest resources in modern economic conditions» analyzed the structural, cost and income approaches [12]. Their point of view: «The comparative approach is difficult to apply when granting forest plots for rent. The cost approach involves long-term cost accounting and allows you to take into account costs in the long-term period of forest cultivation» [12]. According to the authors of the article, the income approach is currently most in demand in forestry.

The cost and comparative approaches, according to the authors, are of little use due to the difficulties associated with the long-term calculations, since the growing time of a forest is from 100 to 180 years. Forest areas are usually heterogeneous in composition. On forest seed plantations, according to the researchers, it is also possible to use the cost approach.

According to the authors' calculations, the capitalization ratio is determined by adding to the risk-free rate, taking into account premiums for various types of risks, as well as discounts to the population. Thus, the capitalization rate in the timber industry is 2–5,6 %.

Yu. V. Putyatinskaya and Yu. M. Sultanov in their work emphasize the historically important role played by the forestry sector in the state economy [13]. This research paper presents a standard list of approaches used in forestry: cost, comparative and income. After analyzing the advantages and disadvantages of the comparative approach, the authors choose the profitable one as the optimal approach. This approach is recognized by the authors of the article as the best, since it allows you to take into account costs, subject to uneven income.

An important point is noted in the work of A. G. Stolbov: the author says that the violation of the rights to use bioresources in solving social, social and economic problems is a significant «failure» of the market. The researcher proposes to use a systematic approach in conjunction with a comprehensive analysis of statistical data. The system approach is based on a comprehensive assessment of various factors influencing the assessment of bioresources. Reflections on the modernization of the management system for the rational use of natural resources, A.G. Stolbov proposed a rationale for differentiated rates of rent payments for the use of aquatic biological resources [14].

The analysis of the problems under consideration was also carried out by foreign scientists. For example, the research team of J. Miettinen, M. Ollikainen, M. Nieminen, L. Walsta considers the possibilities of applying the cost approach: experts have carried out calculations of marginal costs to justify the effectiveness of water protection in the peat regions of Finland [15].

Table 1 presents pricing approaches in forestry and their researchers.

Table 1

Approaches to pricing in forestry

An approach to pricing	Authors
Comparative	Putyatinskaya Yu.V., Sultanov Yu.M. [13]
Costly	Zhivotyagina N.I., Orekhova N.V., Kazantseva N.V. [12], Miettinen J, Ollikainen M, Nieminen M, Valsta L. [15], Danescu T., Kalean I., Sandru R. [16]
Profitable	Putyatinskaya Yu.V., Sultanov Yu.M. [13]
Systemic	Stolbov A.G. [14]
Mathematical	Moser P., Vibrans A.S., McRoberts R.E., Nasset E., Gobakken T., Kirichi G., Moura M. and Marchett M. [17]
Rental	Kochurova L.I. [3], Kozyreva G.B. [18], Kashatelyan T.V. [19]

The rental approach to forest valuation, proposed by L.I. Kochurova, involves a return to state institutions, which is largely social in nature and leads to a more equitable distribution of income between the population and entrepreneurs, who currently get most of the income from the use of forest resources [3].

The return to state institutions provides for an increase in state control, a reduction in the entrepreneurial activity of market entities. As a rule, government institutions use barrier measures as instruments of control.

Administrative barriers and their regulatory function will be an important component in the implementation of the rental approach in forestry. Such regulation can be carried out through the establishment of economic barriers by the state in financial, credit, tax, investment, scientific, technical and other forms.

Thus, different approaches to pricing are used in the forestry sector. These are comparative, costly, profitable, systematic, mathematical and rental approaches, each of which has certain advantages and disadvantages.

On the part of the state, there is a need to solve the problem of managing market profits in the field of forestry. One of the most appropriate ways to solve this issue in the context of the need for institutional restructuring should be considered the rental approach.

To substantiate this hypothesis, we will conduct a detailed analysis of the currently existing approaches, considering in detail their advantages and disadvantages.

The advantages of each of the approaches to the formation of prices for forest resources are presented in Table 2. An analysis of this table shows that the above approaches have a number of advantages: the comprehensive nature of research (system approach), the ability to take into account the economic effect (income approach), the accuracy of calculations and the use of formulas (mathematical approach), orientation towards a fair redistribution of income and resource conservation (rental approach).

The disadvantages of the considered approaches are: the complexity of collecting information (comparative approach), the complexity of accounting in the conditions of long-term forest cultivation (cost and income approaches), the lack of qualitative analysis (mathematical approach), the decrease in entrepreneurial activity (rental approach).

The disadvantages of each of the approaches to pricing in the forest industry, identified by different researchers, are presented in the Table 3.

Economists currently offer a rental approach to assess forest resources, which is aimed at resource conservation through obtaining an economic benefit for the state when using forests, taking into account increasing their productivity in the future [20, 21].

The study of the rental approach is aimed at solving the problem of determining the profit from the market activity of enterprises and a more equitable distribution of income in favor of the state, while in the present conditions most of the income is distributed in favor of the commercial sector. If the rental approach is applied, the income received can be used for the reproduction and restoration of the forest fund of the Russian Federation.

Rent (lat. rendere — to generate income) is understood as «regularly received annual income from capital, land, forest resources, property, which does not require entrepreneurial activity from the recipient» [22].

The concept of rent has been analyzed in the works of many foreign and Russian scientists. Thus, the representative of classical science, Adam Smith, considers in his writings the features of obtaining rent from land [10]. A modern representative of economic science A.A. Auzan notes that rent capture creates conditions for the prosperity of entities whose activities are based on informal norms [23]. Scientists L.I. Kochurova [3], G.B. Kozyreva emphasize the importance of forest rent in the distribution of interest groups and financial flows [18], T.V. Kashtelyan characterizes the issue from the point of view of the lack of institutional foundations for the rent of a natural nature, in particular, taking into account

Table 2

Advantages analysis of approaches to pricing in forestry

An approach to pricing	Benefits of the approach
Comparative	Allows you to study forest plots by analogy based on selected features [13]
Costly	Allows you to take into account costs based on the duration of the forest growing period [12, 15, 16]
Profitable	Takes into account the economic effect from the beginning of production activities to the final result [13]
Systemic	Allows you to give a comprehensive analysis of statistical data for the study of the state of natural resources (forest, water, land, etc.) [14]
Mathematical	The advantage is the accuracy of the calculations [17]
Rental	Aimed at resource conservation and involves a return to state institutions of forestry management [3, 18, 19]

Table 3

Shortcomings analysis of approaches to pricing in forestry

An approach to pricing	Approach disadvantages
Comparative	The heterogeneous composition of forest resources is the reason for the difficulty in selecting analogues of forest plots [14]
Costly	Difficulties in collecting information for making calculations on growing forests in a long-term period [1, 2, 7]
Profitable	The transformation of negative financial flows into positive ones requires the time required to assess income from the cultivation and sale of forests [14]
Systemic	Economic tools are considered an indirect method of influence in making managerial decisions [16]
Mathematical	This approach is quantitative, does not allow to take into account aspects of a qualitative nature [3]
Rental	Reducing the role of the market, reducing entrepreneurial activity [8–10]

differentiating factors, for example, the transport component [19, 24].

In the article «Scientific vision of market profit» L.I. Kochurova presented a methodology for determining the constituent parts of the rent and the possibility of their use in economic activity. The author emphasizes the need to return to the state institutions of forest management [3].

An important advantage of the rental approach is the focus on a fair redistribution of income between the subjects of the business environment and the state, which will allow the state to effectively perform its function [25–28].

The practice of applying the rental approach implies the following advantages:

- the possibility of taking into account the main rent-forming factors;
- orientation of the approach to resource conservation, restoration and reproduction of the forest;
- fair redistribution of profit between the subjects of the market economy and the population;
- increasing the efficiency of forest management in terms of state policy.

The rental approach to determining the cost of standing timber allows taking into account the following factors:

- dimensional characteristics of forests;
- qualitative characteristics of the forest;
- territorial location of the forest area;
- assortment structure of the forest resources market;
- conjuncture of the market of forest resources;
- conditions and volumes of measures for the protection, protection and reproduction of forests and the value of standard profit.

The proposed approach to calculating the cost of standing timber as a whole will allow taking into account the main rent-forming factors and increase the efficiency of forest management in terms of state policy, as well as establish equal economic opportunities for forest users.

The most important advantage that the high quality of state management of the national forest resources market will provide from a strategic point of view is the focus on a fair redistribution of income between business and the state.

In accordance with Article 25 of the Forest Code, the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation uses a lease model for forest management, including the use of forest resources, the implementation of measures for the protection, protection and reproduction of forests in a lease forest area. Note that the most common use of forests in our country is timber harvesting.

The considered rental approach to the calculation of the cost of forest resources when harvesting wood takes into account the following silvicultural and economic factors:

- forest conditions and productivity of forest stands;
- forest conditions and productivity of forest stands;
- biology of tree species forest element;
- commodity structure of forest stands by forest elements;
- assortment structure of forest stands by forest elements;
- territorial location of the forest area;
- market value of round timber;

- planned volumes of activities for the use, conservation and protection of forests;
- felling and reforestation methods;
- standard profit, etc.

Forest resources and their productivity depend on many factors: forest area, tree species, average height and average diameter of a forest element, density, stock, marketability class, sanitary condition of forest stands, quality class, age structure, origin, etc.

Highly productive forest stands have the highest natural rent during timber harvesting, and low quality forest stands with the worst growth conditions will give minimal or zero natural rent (economically inaccessible resources). All of the above confirms the relevance of the issue under consideration.

As a result of the research, a rental approach to determining the cost of standing timber was proposed. When developing an institutional model of the rental approach based on the interaction of forest use factors, it becomes necessary to combine efforts for the interaction of authorities at the federal, regional and local levels of government.

During creating a model aimed at improving the rental approach to pricing in forestry, a set of 7 groups of main influencing factors was determined.

The rental approach to determining the cost of standing forest allows you to take into account the following factors:

- 1) forest conditions and productivity of forest stands;
- 2) biology of tree species;
- 3) territorial location of the forest area;
- 4) commodity and assortment structure of the forest market;
- 5) market conditions for forest resources;
- 6) conditions and volumes of measures for the protection, protection and reproduction of forests;
- 7) the value of standard profit.

The proposed structural and logical institutional model of the rental approach in forestry is formed on the basis of the factors of the rental approach that affect the further development and successful functioning of the forest industry and the state as a whole (Fig. 1).

This model assumes a decrease in negative externalities, such as a decrease in artificial and natural reforestation, an increase in emissions of air pollutants, forest fires, and damage to forests by harmful organisms. V.V. Chernykh emphasizes that the forestry sector is an industry on the state of which the well-being of the entire state depends. The need to take measures aimed at improving the efficiency of management activities in this area of forestry is recognized as obvious [4].

During improving the rental approach, it is necessary to adhere to such a method of forming a model that does not contradict the strategic interests of the state and the interests of the population.

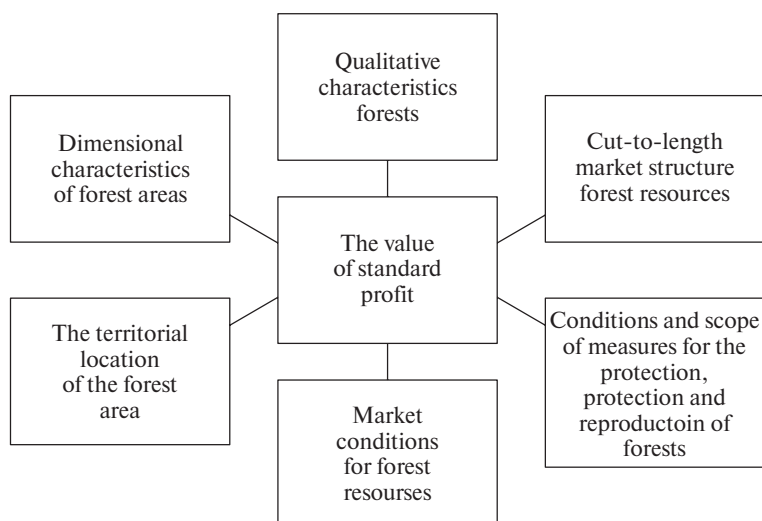


Fig. 1. Structural and logical institutional model of the rental approach in forestry

According to the guidelines for the development of forest taxes, «the minimum rates of forest taxes for the use of forest resources (hereinafter referred to as forest taxes, or forest tax rates, or root prices) in the conditions of free market pricing for products resulting from the use of forest resources are calculated as the difference between the market price of forest products and the amount of costs required to obtain forest products, and the normal profit of the forest user» (Guidelines for calculating the minimum rates of forest taxes and rental rates when transferring forest fund plots to lease. 1994).

The algorithm proposed by us [29] for determining the cost of standing timber has the following form:

- selection of forest area;
- identification of the main factors influencing the cost of roundwood;
- determination of the market value of round timber by timber elements;
- determination of costs for harvesting 1 m³ of wood by forest elements;
- calculation of costs for transportation of 1 m³ of wood;
- establishment of normative (normal) profitability for logging and implementation of forest management activities;
- conducting a computational experiment;
- analysis and presentation of the results of rent determination.

The calculation of the rent value (R_{iv}) for a specific forest area is as follows:

$$R_{iv} = PCS - (C_{tr} + C_z + C_{ozl}) - (C_{tr} + C_z + C_{ozl})PN,$$

where: PCS — market value of assortments by tree species, rub/m³;

C_{tr} — timber transportation costs, rub/m³;

C_z — wood harvesting costs, rub/m³;

C_{ozl} — costs for protection, protection and reforestation, rub/ha;

PN — normative profit from total costs, 0,01 units

To substantiate the rental approach, a computational experiment was conducted to calculate the rent when using a forest plot located in the Yambatorsky district forestry of the Mari-Turek forestry of the Republic of Mari El.

The computational experiment was carried out in the Aispol environment [8] in accordance with the above algorithm for calculating the cost of standing wood resources.

The market value of round timber for the main tree species for 2020 was determined by expert assessment using materials from the Internet price lists for the Volga Federal District.

The costs of ensuring the implementation of measures for the protection, protection, and reproduction of forests in the Republic of Mari El have been identified based on materials from open sources. Calculations of forestry costs are made in accordance with the Decree of the Government of the Russian Federation dated December 4, 2015 No. 1320 «On approval of the Methodology for calculating the coefficient for determining the costs of ensuring the implementation of measures for the protection, protection, reproduction of forests».

Additionally, an assessment was made of the values of the cost factors for forestry management at various cutting sites put up for auction in the Republic of Mari El in 2020.

Statistical analysis of the numerical values of the cost factors for forestry in the conditions of the Republic of Mari El showed that the average value of the cost factor was 5,27 units. This means that the cost of forest management is 5 times higher than the tax value of standing forest in the conditions of the

T a b l e 4
Distribution by cost categories of the forest region of the Yambatorsky district forestry of the Mari-Turek forestry in the Mari El Republic

Name of indicator	Cost, million rubles.	Share, %
Forest protection costs	3,13	0,50
Transport costs	160,28	25,61
Logging costs	325,05	51,93
Protection and reproduction of forests	33,13	5,29
Standard profit	104,3	16,66
Total costs	625,89	100,00

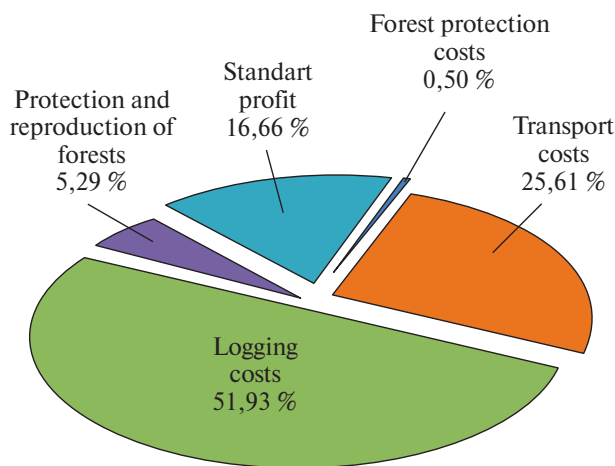


Fig. 2. Distribution of costs on the forest region of the Yambatorsky district forestry of the Mari-Turek forestry in the Mari El Republic, leased for timber harvesting

T a b l e 5
Rent of the forest plot of the Yambatorsky district forestry of the Mari-Turek forestry in the Mari El Republic at a market value

Name of indicator	Cost, mln rubles	Proportion, %
Market value assortment	864,30	100,00
Total cost	625,89	72,42
Rent	238,41	27,58

Republic of Mari El. This statement is statistically proven, since the Student's criterion is greater than 3 ($t_{st} = 7,2$ units). We draw attention to the fact that the value of the variability of the cost factor for forestry in the Republic of Mari El is very large (57,0 %). This is due to the high differentiation of the characteristics of cutting areas: the productivity of the forest plantation, species structure, assortment structure, marketability class, etc. All this provides

a basis for improving the assessment of the cost of standing timber.

All the results of calculations for each taxation unit and tree species, the market value of assortments, the costs of harvesting and transporting wood, the costs of protection, protection and reforestation are presented in the form of a database.

The generalized results of the computational experiment on the calculation of rent for tree species for the Yambatorsky district forestry are shown in Table 4.

The distribution of costs by category was revealed on the example of a forest plot located in the Yambatorsky district forestry. The largest share — 51,93 % — falls on the cost of logging. A significant part is transportation costs — 25,61 %. 5,29 % was directed to the protection and reproduction of forests, 0,5 % to the protection of forests from the total amount of funds spent (Fig. 2).

The rent is calculated taking into account the market value of the assortments. The calculation results are presented in table 5.

According to the analysis of the total costs for the entire cycle of logging and forestry activities, the rent in the Yambatorsky forest area is 238,4 million rubles, or 27,6 % of the market value of round timber (Table 5).

The summary results of the computational experiment on the calculation of rent for tree species in the forest area of the Yambatorsky district forestry of the Mari-Turek forestry of the Republic of Mari El are shown in tables 6 and 7.

The sum of all costs in forest areas where thinning in spruce forests is carried out turned out to be higher than the market value of the assortments by 11,526,6 rubles. This is due to the fact that the yield of commercial wood during the care of forests in spruce forests is of minimal importance, which means that such activities are unprofitable. A similar situation is observed when felling aspen stands. The average negative rent per 1 ha in aspen stands is 31,4 thousand rubles.

Positive rent is observed for pine, birch and linden. The average rent for the entire forest area and for the revision period is positive — 47,9 thousand rubles per 1 ha.

When determining the rent, it is advisable to allocate funds that contribute to a more rational use of forest resources and efficient forest management.

Conclusions

1. A computational experiment to calculate the cost of standing timber on a forest plot located on the territory of the Yambatorsky district forestry of the Mari-Turek forestry of the Republic of Mari El showed that the natural rent is 27.6 %, and considering the standard profit, the rent will be 39.7 %. The relative value of the minimum payment rates

Table 6

**Summary statement of the results of a computational experiment
on the rent calculation of tree species in the forest area of the Yambatorsky district forestry
of the Mari-Turek forestry the Mari El Republic**

Tree species	The value of the rent per 1 ha, rub.			
	Selective felling	Felling of forest plantations in the care of forests	Clear felling	Total
Birch	28955,8	26581,7	93351,1	59555,4
Spruce	52384,3	-11526,6	123815,4	1861,7
Linden	55159,0	–	–	55159,0
Alder gray	–	–	-56558,7	-56558,7
Aspen	-16614,4	–	-88430,5	-31383,9
Pine	108910,5	61928,4	311869,8	70841,8
Average value	40190,7	38520,1	86607,5	47865,3

Table 7

**Generalized results of a computational
experiment to calculate the cost
of the standing crop**

Index		Price	
		million rubles	%
Market value assortment		864,3	100,0
Total cost		625,9	72,4
including	for the protection of forests	3,13	0,4
	transport costs	160,28	18,5
	logging costs	325,05	37,6
	for the protection and reproduction of forests	33,13	3,8
Standard profit (20 %)		104,3	12,1
Rent		238,4	27,6
Tax value (current rates)		13,2	1,5

for standing wood for the experimental forest area is 1.5 % of the market value of the assortments.

2. The proposed approach to calculating the cost of standing timber as a whole will allow considering the main rent-forming factors and increasing the efficiency of forest management and the forest industry from the point of view of state policy, as well as establishing equal economic opportunities for forest users.

3. The most important advantage, which will ensure the high quality of public administration of the national forest resources market from a strategic point of view, is the focus on a fair redistribution of income between business and the state.

References

[1] *Lesnoy kodeks Rossiyskoy Federatsii (red. ot 30.12.2021)* [Forest Code of the Russian Federation (as amended on December 30, 2021)]. Moscow: TK Velbi, Izdatel'stvo

- «Prospekt» [TK Velby, Prospekt Publishing House], 2008, 68 p.
- [2] Shvarts E.A. *Lesnoy kodeks: nevypolnennye obeshchaniya i upushchennye vozmozhnosti* [Forest Code: Unfulfilled Promises and Missed Opportunities]. *Ustoychivoe lesopol'zovanie* [Sustainable Forest Management], 2006, no. 4(12), pp. 2–7.
- [3] Kochurova L.I. *Nauchnoe videnie rynochnoy pribyli* [Scientific vision of market profit]. *Vestnik REU im. G. V. Plekhanova* [Vestnik REU im. G. V. Plekhanova], 2017, no. 6 (96), pp. 53–65.
- [4] Chernykh V.V. *Osobennosti i problemy razvitiya sfery lesnogo khozyaystva v Respublike Mariy El* [Features and problems of development of the forestry sector in the Republic of Mari El]. *Problemy prognozirovaniya* [Problems of Forecasting], 2019, no. 3, pp. 139–147.
- [5] Eismont O., Petrov A.P. *Estimation of Timber Rent and the Efficiency of Increasing Rental Payments in Russia*. Moscow: EERC, 2002, 54 p.
- [6] Petrov A.P. *Ekonomicheskie otnosheniya v lesnom khozyaystve: proshloe, nastoyashchee i vyzovy budushchego* [Economic relations in forestry: past, present and future challenges]. *Voprosy lesnoy nauki* [Questions of forest science], 2019, v. 2, no. 1, pp. 1–22.
- [7] Petrunin N.A. *Razvitie arendnykh otnosheniy v lesnom sektore ekonomiki RF i ikh vliyanie na dokhodnost' lesnoy otrasli* [Development of lease relations in the forestry sector of the Russian economy and their impact on the profitability of the forest industry]. *Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo khozyaystva* [Proceedings of the St. Petersburg Research Institute of Forestry], 2019, no. 1, pp. 68–80.
- [8] A.S. 2020612490 RF *Avtomatizirovannaya obrabotka lesoustroitel'noy informatsii AISPOL. OOO «Marlesproekt»* [Automated processing of forest management information AISPOL. Marlesproekt LLC]. Chernykh D.V., Chernykh L.V., Chernykh V.L., no. 20119667371, dec. 12/19/2019, registered 02/25/2020.
- [9] Erukhimovich I.L. *Tsenoobrazovanie* [Pricing]. Kyiv: MAUP, 2003, 108 p.
- [10] Smith A. *Issledovanie o prichinakh i bogatstve narodov* [Research on the causes and wealth of peoples]. Available at: www.gumer.info/bibliotek_Buks/Econom/smit/smit_1.pdf (accessed 02.12.2022).
- [11] Nord D.S. *Instituty, institutsional'nye izmeneniya i funktsionirovanie ekonomiki* [Institutions, institutional changes and the functioning of the economy]. Moscow: Nachala, 1997, pp. 63–64.

- [12] Zhivotyagina N.I., Orekhova N.V., Kazantseva N.V. *Osobennosti ispol'zovaniya i adaptatsiya podkhodov k otsenke lesnykh resursov v sovremennykh ekonomicheskikh usloviyakh* [Features of the use and adaptation of approaches to the assessment of forest resources in modern economic conditions]. *Politematicheskiy setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Polythematic network electronic scientific J. of the Kuban State Agrarian University], 2011, no. 74, pp. 496–505.
- [13] Putyatinskaya Yu.V., Sultanov Yu.M. *Osobennosti lesnogo fonda kak ob'ekt otsenki* [Features of the forest fund as an object of assessment]. *NovalInfo.ru*, 2015, v. 2, no. 32, pp. 49–52.
- [14] Stolbov A.G. *Formirovanie organizatsionno-ekonomicheskogo mekhanizma ratsional'nogo ispol'zovaniya vodnykh biologicheskikh resursov* [Formation of the organizational and economic mechanism for the rational use of aquatic biological resources]. *Vestnik MGTU*, 2017, v. 20, no. 3, pp. 644–653.
- [15] Miettinen J., Ollikainen M., Nieminen M., Valsta L. Cost function approach to water protection in forestry. *Water Resources and Economics*, 2019, pp. 1–20.
- [16] Danescu T., Calean I., Sandru R. Measuring the Activity of Internal Audit. Case Study at the Autonomous Administrations in Forestry. *Procedia Economics and Finance*, 2014, v. 15, pp. 1339–1348.
- [17] Moser P., Vibrans A. C., McRoberts R. E., Nasset E., Gobakken T., Chirici G., Mura M. and Marchett M. Methods for variable selection in LiDAR-assisted forest inventories. *Forestry*, 2016, v. 90, pp. 112–124.
- [18] Kozyreva G.B. *Instituty lesnoy politiki sovremennoy Rossii* [Institutions of forest policy in modern Russia]. *Ekonomicheskii analiz: teoriya i praktika* [Economic analysis: theory and practice], 2019, v. 18, no. 10 (493), pp. 1796–1811.
- [19] Kashtelyan T.V. *Orientiry vosproizvodstvennykh protsessov lesnogo sektora Belarusi v svete teorii «perekhodnoy» ekonomiki* [Guidelines for the reproduction processes of the forest sector of Belarus in the light of the theory of the «transitional» economy]. *Vestnik Magileyskaya dzyarzhaynaga ūniversiteta imya A.A. Kulyashova. Seriya D: Ekonomika, satsyialogiya prava* [Kulyashov. Series D: Economics, sociology of law], 2019, no. 1 (53), pp. 32–41.
- [20] Bogatova E.Yu., Bepalova V.V. *Ekonomicheskaya otsenka drevesnykh i nedrevesnykh lesnykh resursov v sovremennykh usloviyakh* [Economic assessment of wood and non-wood forest resources in modern conditions]. *Problemy sovremennoy ekonomiki* [Problems of modern economics], 2019, no. 3(71), pp. 287–293.
- [21] Tret'yakov A.G. *Lesnaya renta i ekonomicheskaya dostupnost' lesnykh resursov: metodologicheskie aspekty* [Forest rent and economic availability of forest resources: methodological aspects]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2015, v. 19, no. 2, pp. 153–160.
- [22] *Entsiklopedicheskiy slovar' ekonomiki i prava* [Encyclopedic Dictionary of Economics and Law]. Available at: https://dic.academic.ru/dic.nsf/dic_economic_law/13468/RENTA (accessed 20.01.2022).
- [23] Auzan A.A. *Chernye i belye klavishi reform* [Black and white keys of reform]. *Standarty i kachestvo* [Standards and quality], 2013, no. 1, pp. 6–9.
- [24] Kashtelyan T.V. *Rentnyy mekhanizm upravleniya lesnymi resursami belarusi: teoriya i praktika* [The rental mechanism of forest resource management in Belarus: theory and practice]. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya D: Ekonomicheskie i yuridicheskie nauki* [Bulletin of the Polotsk State University. Series D: Economic and Legal Sciences], 2019, no. 14, pp. 60–69.
- [25] Oleynik A.N. *Izderzhki i perspektivy reform v Rossii: institutsional'nyy podkhod* [Costs and Prospects of Reforms in Russia: An Institutional Approach]. Moscow: Master, 1997, pp. 11–18.
- [26] Zul'karnay I.U. *Instituty prisvoeniya renty v lesnoy otrasli* [Institutions of rent appropriation in the forest industry]. *Evraziyskiy yuridicheskiy zhurnal* [Eurasian Law J.], 2017, no. 9 (112), pp. 357–359.
- [27] Lorincová S., Lipoldová M., Hitka M., Stachová K., Stacho Z., Joniaková Z., Blštáková J. Defining the differences in corporate culture in wood-processing and forest enterprises. *BioResources*, 2020, t. 15, no. 2, pp. 3320–3343.
- [28] Kashtelyan T.V. *Osobennosti rentnykh otnosheniy v lesnom komplekse* [Peculiarities of rent relations in the forest complex]. *Trudy BGTU. Seriya 5: Ekonomika i upravlenie* [Proceedings of BSTU. Series 5: Economics and Management], 2019, no. 1 (220), pp. 41–48.
- [29] Chernykh V.V., Chernykh L.V., Shutov V.A. *Rentnyy podkhod po otsenke stoimosti lesa na kornyuu* [The rental approach to assessing the cost of standing timber]. *Nauchnomu progressu – tvorchestvo molodykh* [Scientific progress — young people's work], 2020, no. 2, pp. 153–155.

Authors' information

Chernykh Valeriy Leonidovich — Dr. Sci. (Agriculture), Professor of the Department of Forestry and Forest Inventory of the Volga State Technological University, ChernyhVL@volgatech.net

Chernykh Leonid Valer'evich — Cand. Sci. (Agriculture), Head of the Educational and Research Laboratory «Modern Information Technologies in Forestry» of the Volga State Technological University, ChernyhLV@volgatech.net

Chernykh Dmitriy Valer'evich — Cand. Sci. (Agriculture), Leading Programmer of the Educational and Research Laboratory «Modern Information Technologies in Forestry» of the Volga State Technological University, ChernyhDV@volgatech.net

Shutov Vladimir Aleksandrovich — pg., Volga State Technological University, shutov@gov.mari

Received 30.03.2023.

Approved after review 23.06.2023.

Accepted for publication 18.07.2023.

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

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕКСТУРНОЙ СЕГМЕНТАЦИИ ЛЕСНОГО ПОЛОГА ПО ИЗОБРАЖЕНИЯМ СВЕРХВЫСОКОГО ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ

Е.В. Дмитриев¹, П.Г. Мельник^{2✉}, С.А. Донской³, Т.В. Кондранин⁴

¹ФГБУН «Институт вычислительной математики имени Г.И. Марчука Российской академии наук», Россия, 119333, г. Москва, ул. Губкина, д. 8

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

³ФГБУ «Рослесинфорг», Россия, 109316, г. Москва, пр-кт Волгоградский, д. 45, стр. 1

⁴ФГАОУ ВО «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)», Россия, 141701, Московская обл., г. Долгопрудный, пер. Институтский, д. 9

melnik_petr@bk.ru

Рассмотрена задача повышения точности сегментации структур лесного полога при обработке спутниковых изображений сверхвысокого пространственного разрешения путем совместного использования текстурных признаков, извлекаемых различными методами. Предложен метод TTSPCA (Total Texture Statistics Principal Component Analysis) и показана его эффективность для ряда тестовых примеров. Получены оценки эффективности TTSPCA для решения задачи определения контуров древостоев и типов произрастания. В качестве дистанционных данных использовано панхроматическое изображение WorldView-2 тестового участка (Бронницкое лесничество, Московская обл.) полученное в летний период. Для проведения текстурной сегментации помимо TTSPCA, также использовались несколько стандартных статистических методов второго порядка и спектральный (энергетический) метод на основе вейвлет-преобразования. Показано, что практически все рассмотренные статистические и спектральные методы обеспечивают сегментацию древостоев с ошибками, не превышающими 3–4 %. Установлено, что метод TTSPCA позволяет уменьшить вероятность ошибок в лесоучетной зоне, а также определить выделы с преобладанием естественных и искусственных насаждений с точностью свыше 85 %. Полученные результаты в дальнейшем можно рекомендовать к использованию в целях усовершенствования разрабатываемой нами системы совместной спектрально-текстурной обработки спутниковых изображений с различным пространственным разрешением.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, распознавание образов, тематическая обработка, текстурный анализ, аэрокосмические изображения высокого разрешения, сегментация лесного полога

Ссылка для цитирования: Дмитриев Е.В., Мельник П.Г., Донской С.А., Кондранин Т.В. Повышение эффективности текстурной сегментации лесного полога по изображениям сверхвысокого пространственного разрешения // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 5. С. 25–36.

DOI: 10.18698/2542-1468-2023-5-25-36

Задача текстурной сегментации древостоев с использованием изображений аэрокосмического дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) имеет широкий спектр приложений в различных секторах лесного хозяйства [1–3]. Многие из них включают в себя вопросы, связанные с лесной таксацией, оценкой продуктивности древостоев [4] и качества посадочных материалов [5], мониторингом жизненного состояния и изменений биоразнообразия [6, 7], контролем распространения инвазивных видов [8], защитой и охраной лесов от пожаров [9], а также определением параметров, характеризующих депонирование атмосферного углерода [10–12]. Традиционный подход дистанционного обследования лесных территорий основан на использовании спектральных характеристик лесного полога [13–15]. При этом используются как непосредственно

значения спектральной отражательной способности, так и производные характеристики в виде вегетационных индексов.

Повышение информативности решения прикладных задач лесного хозяйства возможно при использовании наряду со спектральными характеристиками данных о пространственной структуре объектов, в частности текстурных признаков [16–20]. В последние годы опубликованы работы, в которых изложены материалы исследования информативности текстурных признаков при определении видового состава древостоев. В работе [16] показано, что их использование позволяет повысить точность классификации на 5...15 %, в зависимости от района обследования. Также отмечается, что при классификации некоторых видов деревьев используемые текстурные признаки не несут значимой дополнительной информации.

Использование текстурных признаков оказывается эффективным также при тематической

обработке гиперспектральных изображений. Так, например, подход, предложенный в работе [19], позволил повысить точность классификации породного состава до 10 %, в зависимости от выбранной тестовой территории, по сравнению с использованием средних спектральных характеристик.

Использование текстурных признаков повышает информативность методов аэрокосмического ДЗЗ не только для лесов средних широт, но и для других глобальных лесных территорий (влажные тропические леса). Текстурированная панхроматических спутниковых данных территории Мата-де-Санта-Женебра (Сан-Паулу, Бразилия) [21] позволила классифицировать большее число пород деревьев и улучшить интегральную точность спектральной обработки более чем на 25 %.

Текстурированные признаки информативны при обработке изображений ДЗЗ как однородных, так и смешанных древостоев [18]. Поэтому, например, при использовании вегетационных индексов для определения видового состава древостоев учитываются характерные различия пространственной структуры лесного полога и крон отдельных деревьев [16]. Привлечение текстурного анализа позволяет также учитывать зависимости отражательной способности древостоев от геометрических и структурных параметров, в частности сомкнутости полога и плотности крон. В работе [22] показано, что при классификации древостоев с высокой плотностью полога точность выявления видового состава на основе текстурной обработки панхроматических изображений высокого пространственного разрешения $\sim 0,5$ м, полученных с коммерческого спутника WorldView-2, существенно превосходит результаты классификации с использованием как вегетационных индексов, так и данных по яркости, регистрируемых в спектральных каналах спутниковой аппаратуры.

Отметим, что ключевым фактором в разрабатываемых методах тематической обработки с привлечением текстурных признаков является пространственное разрешение аппаратуры ДЗЗ. Достоверность результатов решения указанных выше и других практических задач детального обследования лесных массивов методами ДЗЗ, улучшается с повышением пространственного разрешения [23, 24].

Цель работы

Цель работы — исследование возможностей повышения точности текстурной сегментации местоположения и типов произрастания древостоев.

Рассмотрим полученные нами результаты тематической текстурной обработки спутниковых изображений высокого пространственного

разрешения с использованием стандартных статистических и спектральных методов, широко используемых для решения подобных задач, а также с использованием метода TTSPCA. Также приведем результаты сравнительного анализа эффективности перечисленных методов.

Методы текстурной сегментации

При обработке аэрокосмических изображений часто используется схема текстурной сегментации, основанная на классификации текстурных признаков частей изображения, находящихся внутри скользящего окна заданного размера [25]. Задача состоит в обработке панхроматических изображений лесных массивов для их сегментации с высокой детализацией, для чего используются спутниковые данные сверхвысокого пространственного разрешения.

Ключевым элементом обработки является текстурный куб признаков — трехмерный массив, каждый слой которого является изображением соответствующего текстурного признака [26]. Используемая схема сегментации включает в себя следующие этапы:

- 1) выбор метода извлечения текстурных признаков (измерения текстуры);
- 2) разбиение изображения на части с помощью равномерной сетки с заданным шагом;
- 3) вычисление текстурных признаков для каждой части и их билинейная интерполяция на пиксели исходного изображения;
- 4) сглаживание изображений текстурных признаков с помощью гауссовского фильтра [27];
- 5) выбор наиболее информативных признаков и формирование текстурного куба;
- 6) попиксельная классификация и сегментация текстурного куба.

Результаты расчетов, представленные в работе [26], демонстрируют, что данный метод позволяет провести текстурную обработку на несколько порядков быстрее по сравнению со стандартным методом скользящего окна, центр которого пробегает все пиксели панхроматического изображения при сохранении точности. Применение данного метода оправдано при обработке сцен значительного размера [26], например, панхроматических изображений участков более 10 км^2 , полученных со спутников WorldView или Pleiades [28].

Наличие текстуры означает, что яркости пикселей обрабатываемого изображения, находятся в пространственной зависимости, для описания которой, как правило, используются статистический или спектральный (энергетический) подходы. В первом случае предполагается, что яркости пикселей панхроматического изображения имеют некоторое дискретное распределение и в той или иной степени коррелированы по пространству [29].

Основным предположением является то, что различным текстурам соответствуют различные функции вероятности, характеризующие распределение яркости и взаимного расположения пикселей. Оценки функций вероятности представляются в виде матриц и, таким образом, соответствующие статистические методы называют «матричными» [25]. На основе функций вероятности рассчитываются статистические характеристики, называемые текстурными признаками, и для получения надежных оценок функций вероятности изображение должно содержать достаточно большое число текстурных элементов.

Рассмотрим четыре матричных метода извлечения текстурных признаков, наиболее пригодных для выделения структур лесного полога [26]. Одним из наиболее часто используемых статистических методов текстурного анализа является метод Харалика [30]. В основе метода лежит построение матрицы GLCM (Gray-Level Co-Occurrence Matrix — матрица совместной встречаемости уровней серого) [30, 31], элементы которой являются частотами совместной встречаемости уровней яркости пар пикселей панхроматического изображения по заданному направлению (направление смежности). Расстояние между пикселями, образующими пару, называют расстоянием смежности. Для формирования таких пар обычно рассматривают ближайшие соседние пиксели, однако в некоторых случаях, например, когда нужно рассмотреть больше градаций углов смежности, расстояние смежности может быть увеличено [31].

Практическая реализация метода Харалика показала, что особенности сложной пространственной структуры лесного полога делают необходимым наряду с яркостью пикселей также использовать характерные значения скорости перепада яркости. С этой целью использована модификация указанного метода [32], в которой строится новая матрица GGCM (Gray-Level Gradient Co-Occurrence Matrix — матрица совместной встречаемости градиентов уровней серого) путем преобразования исходного изображения к изображению модуля градиента яркости с помощью оператора Собеля.

Исследована также другая модификация метода Харалика, основанная на построении кресто-диагональной текстурной матрицы CDTM (Cross-Diagonal Texture Matrix — кресто-диагональная текстурная матрица) [33], когда не требуется вычислять направление смежности. Для построения матрицы CDTM на исходном изображении выделяются все возможные ячейки размером 3×3 , для которых проводится сравнение яркости центрального и граничных пикселей. Эта матрица характеризует распределение сочетания значений диагонального и крестового блоков.

В дополнение к модификациям метода Харалика рассматривается метод GLRLM (Gray-Level Run-Length Matrix — матрица длин серий уровней серого) предложенный в работе [34]. Метод основан на оценке частоты появления линейных примитивов заданной длины с одинаковой яркостью вдоль данного направления. В стандартной формулировке базовые направления определяются прямыми, проходящими под углами 0° , 45° , 90° и 135° по отношению к горизонтальной оси. Соответствующие текстурные признаки представляют собой параметры, характеризующие преобладание определенных длин, уровней яркостей и однородности распределения линейных примитивов.

Таким образом, в отличие от большинства исследований мы при решении важной прикладной задачи рассматриваем набор текстурных признаков характеризующих преобладание определенных размеров, уровней яркости, а также однородности распределения линейных примитивов. Детали рассматриваемых методов, формулы для вычисления текстурных признаков представлены в работе [26].

Из полного набора признаков с учетом специфики каждого метода были выбраны наиболее подходящие из них для решения задачи сегментации структур лесного полога. Для этого использовался регуляризованный метод прямого отбора [35], который обеспечивает получение последовательности наиболее информативных признаков для заданной задачи обучаемой классификации, устойчивый к малым изменениям обучающего множества. Отобранные признаки и используемые параметры настройки представлены в табл. 1.

Текстура лесного полога неоднородна и определяется множеством параметров, основными из которых являются породный состав, полнота и тип леса. Каждый из стандартных статистических методов, представленных в табл. 1, имеет свои преимущества при сегментации текстур определенного вида. При совместном использовании выбранных текстурных признаков возникает проблема «проклятия размерности» [36], для решения которой нами был предложен метод TTSPCA [26]. Расчеты для небольших тестовых участков, представленные в работе [26], показали, что регуляризованное решение, получаемое с помощью метода TTSPCA, имеет несколько более высокую точность, чем каждый из отдельных методов в табл. 1. При этом следует отметить, что в работе [26] использовались другие наборы признаков.

Помимо статистического подхода для извлечения текстурных признаков в ряде работ используется спектральный (энергетический) подход, основанный на преобразовании Фурье или

Характеристики статистических методов, используемых для извлечения текстурных признаков
Characteristics of statistical methods used for texture feature extraction

Метод	Общее число признаков	Параметр	Используемые признаки
GLCM	19	Расстояние смежности, направление смежности	Автокорреляция, энтропия, однородность 2, энергия
GGCM	19	Расстояние смежности, направление смежности	Однородность, неоднородность, энтропия разности
GLRLM	11	Направление серии	GLNU (Gray-level nonuniformity — неоднородность уровней серого)
CDTM	19	–	Корреляция, дисперсия разности, энтропия, однородность

вейвлет-преобразовании. В работе [37] показана высокая эффективность данного подхода, на примере метода основанного на преобразовании вейвлет-рассеяния. Для извлечения признаков строится сеть рассеяния, представляющая собой многослойную структуру, каждый узел которой содержит коэффициенты рассеяния для различных масштабов и поворотов базового вейвлета. Коэффициенты рассеяния вычисляются на основе итерационного выполнения свертки сигнала с вейвлет-функцией и вычисления модуля. На заключительном этапе проводится осреднение — свертка с соответствующим фильтром низких частот. Метод извлечения текстурных признаков описанный в работе [37] и используемый также в настоящей работе, далее обозначим, как WISF (Wavelet Image Scattering Features — признаки вейвлет-рассеяния изображения).

На заключительном этапе обработки (этап 6) к сформированному кубу текстурных признаков применяются алгоритмы обучаемой классификации: формируются изображения результатов попиксельной классификации, на которых отображаются целевые объекты, а прочие объединяются в один класс. Использовались также алгоритмы обучаемой классификации различной сложности: квадратичный дискриминантный анализ (КДА) [38] и метод самокорректирующихся кодов (МСК) [39].

Квадратичный дискриминантный анализ относится к байесовским алгоритмам и позволяет получать оптимальное решение в предположении нормальности распределения используемых признаков. Это достаточно быстрый алгоритм, не требующий сбалансированности обучающих данных. Поскольку дискриминантные поверхности представляются квадратичными полиномами, возможны значительные ошибки классификации, если распределения признаков отличаются от нормального.

Метод самокорректирующихся кодов — это ансамблевый алгоритм, предназначенный для решения задач многоклассовой классификации

на основе проведения серии бинарных классификаций и последующего голосования. В качестве базового бинарного классификатора был использован метод опорных векторов (МОВ) с гауссовским ядром, таким образом данную модификацию МСК будем обозначать как МСК МОВ. Реализация МСК МОВ требует больше вычислительных затрат, чем КДА. Кроме того, МСК МОВ чувствителен к дисбалансу обучающих данных. В то же время в отличие от КДА классификатор МСК МОВ позволяет использовать более сложные нелинейные дискриминантные поверхности.

Численные эксперименты

Для проведения расчетов была выбрана тестовая территория площадью около 2500 га в районе д. Лубнинка (Раменский городской округ, Московская обл.). Древостои выбранного участка имеют разнообразный породный состав, включающий в себя основные лесообразующие породы, произрастающие в лесах европейской части России. Участок относится к Бронницкому лесничеству, для которого у нас имеются стандартные данные лесоустройства. Актуализация данных лесоустройства проводилась в 2020 г. с использованием измерений на постоянных пробных площадях. Для повышения точности валидации рассматриваемых методов, имеющиеся лесотаксационные карты были дополнены контурами древостоев, не относящихся к лесному фонду.

Текстурная сегментация проводилась для панхроматического изображения WorldView-2 за 28 июля 2011 г. с пространственным разрешением 0,5 м. Для оценки качества сегментации использовалась векторная карта границ древостоев, в которую помимо лесотаксационных выделов были включены наиболее крупные участки, не относящиеся к лесному фонду. Обучение классификаторов КДА и МСК МОВ проводилось на сбалансированной выборке объемом 1000 реализаций на каждый класс. После приведения результатов классификации к бинарному формату

**Оценка ошибок текстурной сегментации лесного полога
для различных методов извлечения текстурных признаков
и алгоритмов обучаемой классификации**

**Evaluation of forest canopy texture segmentation errors for different texture feature extraction methods
and trained classification algorithms**

Показатели ошибки сегментации	Методы извлечения текстурных признаков					
	GLCM	GGCM	GLRLM	CDTM	TTSPCA	WISF
Классификация с помощью КДА						
TE	0,035	0,046	0,041	0,035	0,031	0,054
TOE	0,035	0,042	0,051	0,037	0,035	0,045
TCE	0,039	0,054	0,037	0,038	0,033	0,064
Классификация с помощью МСК МОВ						
TE	0,035	0,07	0,04	0,038	0,038	0,035
TOE	0,042	0,06	0,049	0,042	0,043	0,042
TCE	0,033	0,081	0,039	0,039	0,039	0,033

(лес и прочие объекты) проводилось сравнение с векторной картой и выполнялся расчет матрицы ошибок и прочих характеристик (табл. 2).

Ключевая характеристика для оценки — полная вероятность ошибки (ПВО) — отношение ошибочно классифицированных пикселей к общему количеству пикселей. Кроме показателя ПВО вычислялись среднее значение ошибок оmissии (СОО) и среднее значение ошибок комиссии (СОК). Показатель СОО характеризует вероятность ошибочной классификации фактических классов, а показатель СОК — вероятность ошибочной классификации ответов классификатора.

Из табл. 2 следует, что все рассмотренные методы сегментации позволяют получить приемлемый с точки зрения практики результат: значения показателя ПВО в «наихудшем» случае (метод GGCM) не превышают 7 %. Среди статистических методов, наилучшие результаты демонстрируют методы GLCM и CDTM. При этом алгоритм классификации КДА обеспечивает ошибку не более 3,5 %. Использование алгоритма МСК МОВ приводит для метода CDTM к возрастанию ошибки до 3,8 %. Для классификатора КДА наилучший результат демонстрирует метод TTSPCA: значение ПВО составляет 3,1 %. Однако при использовании классификатора МСК МОВ, для получения сопоставимого с другими методами результата с помощью метода TTSPCA, приходится использовать меньшее число главных компонент, что негативно сказывается на общей точности. Спектральный метод WISF, напротив, показывает более точный результат при использовании классификатора МСК МОВ: показатель ПВО уменьшается на 2 %. Для всех методов имеет место удовлетворительное соответствие между значениями показателей СОО и СОК, что

свидетельствует об отсутствии явного дисбаланса обучения относительно одного из рассматриваемых классов.

Результаты анализа ошибок сегментации для рассматриваемых методов представлены на рис. 1. Точные результаты сегментации древостоев обозначены зеленым цветом. Ошибка первого рода соответствует случаю, когда пиксели находящиеся внутри контуров древостоев согласно векторной карте определены алгоритмом сегментации как прочие объекты. Ошибка второго рода возникает, когда алгоритм сегментации определяет пиксели древостоев вне контуров векторной карты. На рис. 1 видно преобладание ошибок второго рода, что в основном связано с невключением некоторых участков с единичными деревьями в векторную карту.

Важно, что основная часть ошибок соответствует граничным пикселям. Для контуров древостоев число граничных пикселей составляет около 1,3 % общего числа пикселей обрабатываемого изображения. Поскольку в окрестности границ изображение внутри скользящего окна содержит значительные фрагменты как целевого, так и прочих объектов, естественным уровнем ошибки будем считать значение 0,7 %. На основании этого можно заключить, что для методов GLCM, GLRLM, CDTM и TTSPCA не наблюдается значимых различий при использовании классификаторов КДА и МСК МОВ. Визуальная оценка качества сегментации (см. рис. 1) показывает, что, в отличие от TTSPCA, для методов GLCM и WISF заметная часть ошибок первого рода сосредоточена в пределах лесоучетной территории.

Рассматриваемые методы извлечения текстурных признаков позволяют также сегментировать

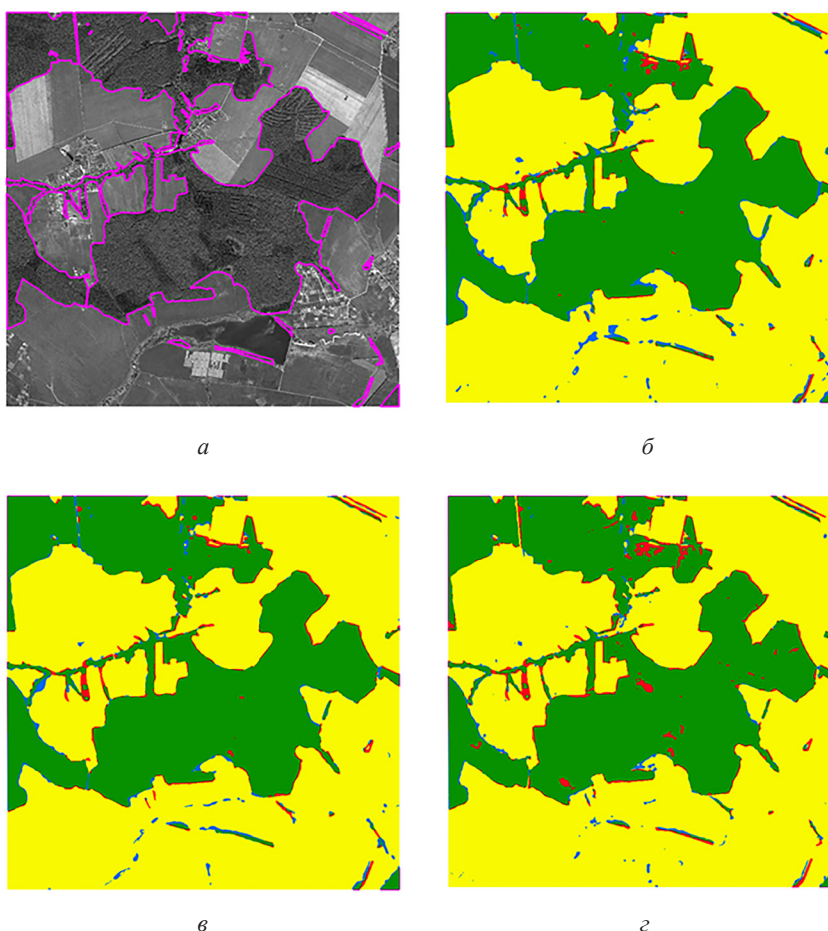


Рис. 1. Сегментация древостоев тестового участка: *a* — панхроматическое изображение со спутника WorldView-2, фиолетовые контуры — векторная карта древостоев; *б* — сегментация с использованием метода GLCM, классификатор — КДА, желтый — прочие объекты, красный — ошибка первого рода, синий — ошибка второго рода, зеленый — древостой; *в* — сегментация с использованием метода TTSPCA, классификатор — КДА; *г* — сегментация с использованием метода WISF, классификатор — МСК МОВ

Fig. 1. Segmentation of stands of the test plot: *a* — panchromatic image from the WorldView-2 satellite, purple contours — vector map of stands; *б* — segmentation using the GLCM method, classifier — QDA, yellow — other objects, red — error of the first kind, blue — error of the second kind, green — stands; *в* — segmentation using the TTSPCA method, classifier — QDA; *г* — segmentation using the WISF method, classifier — ECOC SVM

области естественных и искусственных насаждений. Как видно из рис. 2, лесные культуры, как правило, формируют упорядоченные (регулярные) структуры полого, в то время как для естественных насаждений характерна хаотическая структура, составленная кронами различного диаметра.

Для валидации были использованы производные классы — типы произрастания, полученные на основе лесотаксационных данных по категориям земель (рис. 3, *a*). Результаты попиксельной классификации естественных и искусственных лесных насаждений (рис. 3, *б*), были перенесены на стандартные лесотаксационные выделы по принципу большинства (рис. 3, *в*).

Из рис. 3 видно хорошее соответствие наземных данных и данных, полученных в результате обработки спутниковых изображений: совпадение имеет место более чем 85 % выделов. Большая часть несовпадающих выделов имеют малую площадь. Таким образом, ошибки, возникающие в этом случае, могут объясняться определяющим влиянием граничных пикселей.

Также ошибки могут быть связаны с устареванием наземных данных и со смешением естественных и искусственных насаждений в пределах одного выдела. Процент вхождения доминантных классов представлен на рис. 3, *г*. Из рис. 3, *г* можно заключить, что для большей части выделов доминантная структура составляет более 90 %.

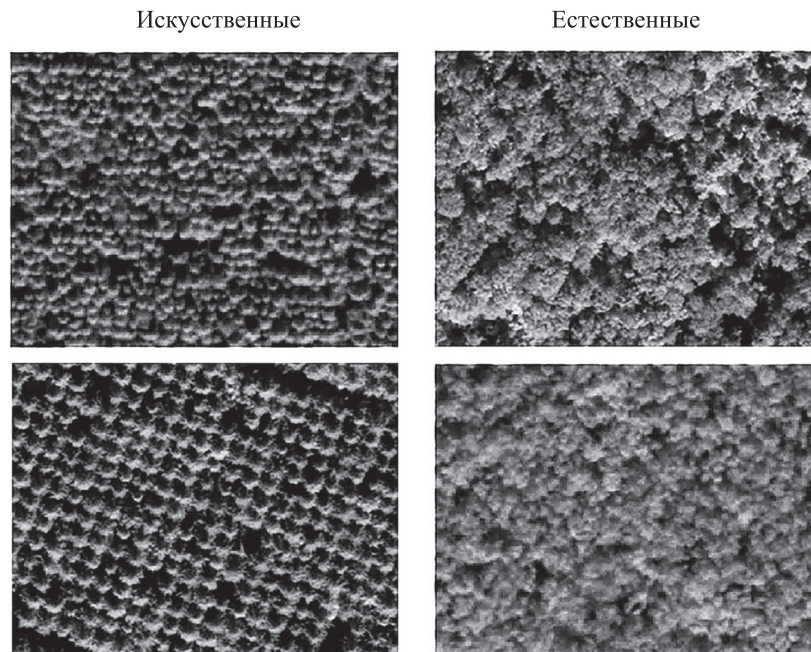


Рис. 2. Характерные текстуры полога естественных и искусственных древостоев
Fig. 2. Characteristic canopy textures of natural and artificial forest stands

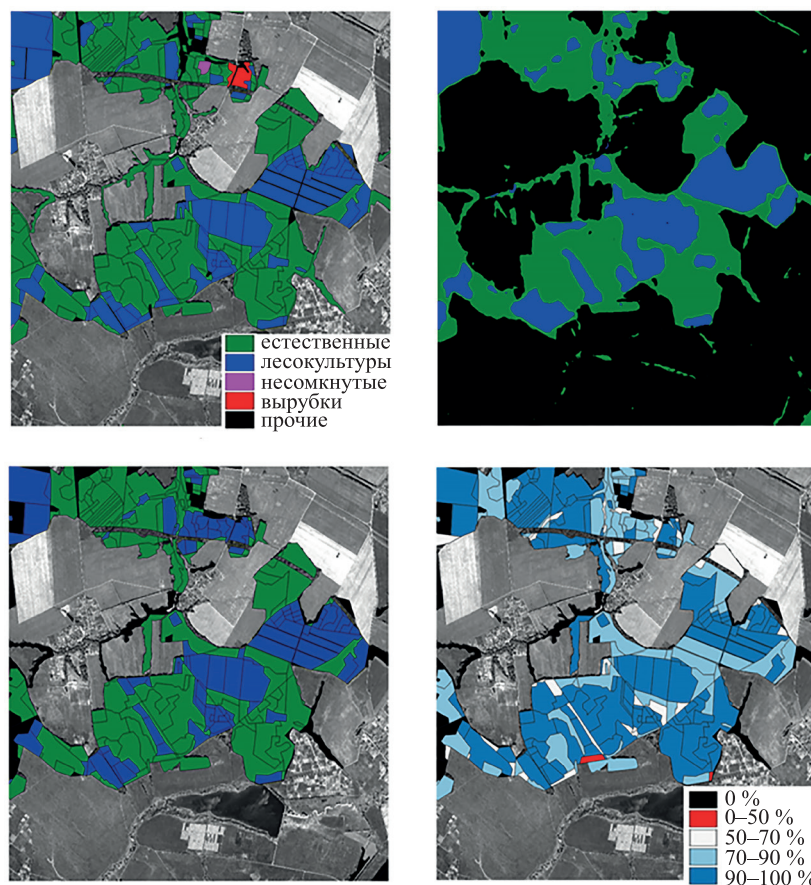


Рис. 3. Результаты текстурной сегментации естественных и искусственных древостоев: *a* — карта наземной лесной таксации; *б* — попиксельная текстурная сегментация; *в* — карта по спутниковой информации; *г* — содержание доминирующей структуры лесного полога
Fig. 3. Results of texture segmentation of natural and artificial stands: *a* — ground forest inventory map; *б* — pixel-by-pixel texture segmentation; *в* — map based on satellite information; *г* — content of the dominant forest canopy structure

Выводы

Статистические и спектральные методы извлечения текстурных признаков можно эффективно использовать для сегментации панхроматических спутниковых изображений сверхвысокого пространственного разрешения с целью определения контуров и типов произрастания древостоев. Типичный уровень ошибок сегментации контуров древостоев составляет 3–4 % при естественном уровне 0,7 % как для статистических, так и для спектральных методов. Полученные количественные характеристики не позволяют выявить значимого преимущества одного из рассмотренных методов, однако учитывая визуальный анализ, можно утверждать, что более «быстрый» метод TTSPCA позволяет восстановить контуры древостоев с меньшим количеством ошибок в лесоучетной зоне. Рассмотренные методы также позволяют с точностью более 85 % определить выделы с преобладанием естественных и искусственных насаждений. Полученные результаты можно в дальнейшем использовать для повышения точности спектрально-текстурной тематической обработки аэрокосмических изображений, а также в задачах автоматизации процесса актуализации лесотаксационных данных.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ в рамках научного проекта № 23-29-00128 «Методы машинного обучения в задаче автоматизации обработки данных космических систем высокоточного мониторинга растительного покрова».

Список литературы

- [1] McRoberts R.E., Tomppo E.O. Remote sensing support for national forest inventories // Remote sensing of environment, 2007, no. 110(4), pp. 412–419.
- [2] Кравцов С.Л., Ильючик М.А., Голубцов Д.В., Козел А.Л., Пушкин А.А., Савко И.Л., Романович К.А. Прогнозный мониторинг развития очагов короэда-типографа в насаждениях ели с использованием спутниковых и наземных данных // Труды БГТУ. Сер. 1. Лесное хоз-во, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов, 2022. № 1 (252). С. 65–72.
- [3] Шумаков Ф.Т., Толстохатко В.А., Тарнопильская Н.П. Возможности использования космических снимков для решения задач мониторинга лесов // Восточно-европейский журнал передовых технологий, 2012. № 11. С. 25–29.
- [4] Melnik P.G., Karasyov N.N. Productivity of different larch types in Moscow region // Eurasian Forests – Hungarian Forests: Materials of the VI Int. Conf. of Young Scientists. Moscow: MSFU, 2006, pp. 83–85.
- [5] Поплавская Л.Ф., Ребко С.В., Тупик П.В. Оценка качества семенного и посадочного материала сосны обыкновенной, полученного на гибридно-семенной плантации // Труды БГТУ. Сер. 1. Лесное хоз-во, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов, 2018. № 1 (204). С. 20–24.
- [6] Getzin S., Wiegand K., Schöning I. Assessing biodiversity in forests using very high-resolution images and unmanned aerial vehicles // Methods in ecology and evolution, 2012, no. 3(2), pp. 397–404.
- [7] Мерзленко М.Д., Мельник П.Г. Значение географических лесных культур в сохранении биологического разнообразия древесных растений // Биологическое разнообразие лесных экосистем. М.: Типография Россельхозакадемии, 1995. С. 325–327.
- [8] Silva S.D.P., Eugenio F.C., Fantinel R.A., de Paula Amaral L., dos Santos A.R., Mallmann C.L., Ruoso R. Modeling and detection of invasive trees using UAV image and machine learning in a subtropical forest in Brazil // Ecological Informatics, 2023, p. 101989.
- [9] Мартынюк А.А. Инновационные разработки ВНИИЛМ – в практику лесного хозяйства // Лесохозяйственная информация, 2018. № 3. С. 7–11. DOI: 10.24419/LHI.2304-3083.2018.3.01
- [10] Schepaschenko D., Karminov V., Moltchanova E., Fedorov S. Russian forest sequesters substantially more carbon than previously reported // Scientific Reports, 2021, v. 11, no. 1, p. 12825. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-92152-9>
- [11] Савиных Н.П., Тетерин А.А. Об использовании лиственницы сибирской для повышения депонирования углерода лесами // Вестник Тверского государственного университета. Сер. биол. и экол., 2022. № 3(67). С. 83–94.
- [12] Мерзленко М.Д., Мельник П.Г., Мельник Л.П. Депонирование углерода стволовой фракцией в 100-летних лесных культурах хвойных пород // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 2. С. 5–10. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-2-5-10
- [13] Бартаев С.А., Лупян Е.А. Исследования и разработки ИКИ РАН по развитию методов спутникового мониторинга растительного покрова // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2013. № 10(1). С. 197–214.
- [14] Козодеров В.В., Дмитриев Е.В., Каменцев В.П. Система обработки самолетных изображений лесных экосистем по данным высокого спектрального и пространственного разрешения // Исследование Земли из космоса, 2013. № 6. С. 57–64.
- [15] Jia K., Liang S., Zhang L., Wei X., Yao Y., Xie X. Forest cover classification using Landsat ETM+ data and time series MODIS NDVI data // International J. of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2014, no. 33, pp. 32–38.
- [16] Franklin S.E., Hall R.J., Moskal L.M., Maudie A.J., Lavigne M.B. Incorporating texture into classification of forest species composition from airborne multispectral images // International J. of Remote Sensing, 2000, no. 21(1), pp. 61–79.
- [17] Johansen K., Phinn S. Mapping structural parameters and species composition of riparian vegetation using IKONOS and Landsat ETM+ data in Australian tropical savannahs. Photogram // Eng. Remote. Sens., 2006, no. 72 (1), pp. 71–80.
- [18] Mallinis G., Koutsias N., Tsakiri-Strati M., Karteris M. Object-based classification using Quickbird imagery for delineating forest vegetation polygons in a Mediterranean test site // ISPRS J. Photogramm. Remote Sens., 2008, no. 63(2), pp. 237–250.
- [19] Рылов С.А., Мельников П.В., Пестунов И.А. Спектрально-текстурная классификация гиперспектральных изображений высокого пространственного разрешения // Интерэкспо Гео-Сибирь, 2016. № 4(1). С. 78–84.

- [20] 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
- [21] Ferreira M.P., Wagner F.H., Aragão L.E., Shimabukuro Y.E., de Souza Filho C.R. Tree species classification in tropical forests using visible to shortwave infrared WorldView-3 images and texture analysis // ISPRS J. of Photogrammetry and Remote Sensing, 2019, no. 149, pp. 119–131.
- [22] Sibiya B., Lottering R., Odindi J. Discriminating commercial forest species using image texture computed from a worldview-2 pan-sharpened image and partial least squares discriminant analysis // Remote Sensing Applications: Society and Environment, 2021, no. 23, p. 100605.
- [23] Pekkarinen A. A method for the segmentation of very high spatial resolution images of forested landscapes // International J. of Remote Sensing, 2002, no. 23(14), pp. 2817–2836.
- [24] Yang Lu., Huaiqing Zh. Very High Resolution Images and Superpixel-Enhanced Deep Neural Forest Promote Urban Tree Canopy Detection // Remote Sensing, 2023, no. 15(2), p. 519.
- [25] Chaki J., Dey N. Texture feature extraction techniques for image recognition. Singapore: Springer, 2020. 100 p.
- [26] Дмитриев Е.В., Кондранин Т.В., Зотов С.А. Сегментация природных и антропогенных объектов по панхроматическим спутниковым изображениям с использованием статистических текстурных признаков // Автометрия, 2022. № 58(2). С. 69–84.
- [27] Haddad R.A., Akansu A.N. A class of fast Gaussian binomial filters for speech and image processing // IEEE Transactions on Signal Processing, 1991, no. 39(3), pp. 723–727.
- [28] Schowengerdt R.A. Remote sensing: models and methods for image processing. Elsevier, 2006, 560 p.
- [29] Humeau-Heurtier A. Texture feature extraction methods: A survey // Ieee Access, 2019, no. 7, pp. 8975–9000.
- [30] Haralick R.M., Shanmugam K., Dinstein I.H. Textural features for image classification // IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics, 1973, no. 6, pp. 610–621.
- [31] Petrou M.M., Kamata S.I. Image processing: dealing with texture. Wiley, 2021, 819 p.
- [32] Chen S., Wu C., Chen D., Tan W. Scene classification based on gray level-gradient co-occurrence matrix in the neighborhood of interest points // 2009 IEEE International Conference on Intelligent Computing and Intelligent Systems, 2009, no. 4, pp. 482–485.
- [33] Al-Janobi A. Performance evaluation of cross-diagonal texture matrix method of texture analysis // Pattern Recognition, 2001, no. 34(1), pp. 171–180.
- [34] Galloway M.M. Texture analysis using gray level run lengths // Computer graphics and image processing, 1975, no. 4(2), pp. 172–179.
- [35] Dmitriev E.V. Classification of the Forest Cover of Tver' Region Using Hyperspectral Airborne Imagery // Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics, 2014, no. 50(9), pp. 929–942.
- [36] Беллман Р.Э. Динамическое программирование. М.: Изд. иностранной литературы, 1960. 400 с.
- [37] Wu H., Li M., Zhang M., Zheng J., Shen J. Texture segmentation via scattering transform // International J. of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition, 2013, no. 6(2), pp. 165–174.
- [38] Hastie T., Tibshirani R., Friedman J. The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction. Springer Series in Statistics, 2008, 745 p.
- [39] Dietterich T.G., Bakiri G. Solving Multiclass Learning Problems via Error-Correcting Output Codes // J. of Artificial Intelligence Research, 1995, no. 2, pp. 263–286.

Сведения об авторах

Дмитриев Егор Владимирович — канд. физ.-мат. наук, доцент, ст. науч. сотр., ФГБУН «Институт вычислительной математики имени Г.И. Марчука Российской академии наук», uegor@mail.ru

Мельник Петр Григорьевич — канд. с.-х. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), melnik_petr@bk.ru

Донской Сергей Александрович — начальник отдела, ФГБУ «Рослесинфорг», lesshii@bk.ru

Кондранин Тимофей Владимирович — д-р физ.-мат. наук, профессор, советник при ректорате, ФГАОУ ВО «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)», kondr@kondr.rector.mipt.ru

Поступила в редакцию 01.06.2023.

Одобрено после рецензирования 05.06.2023.

Принята к публикации 18.07.2023.

IMPROVING EFFICIENCY OF TREE CANOPY TEXTURE SEGMENTATION BY USING VERY HIGH SPATIAL RESOLUTION SATELLITE IMAGES

Y.V. Dmitriev¹, P.G. Melnik^{2✉}, S.A. Donskoy³, T.V. Kondranin⁴

¹Marchuk Institute of Numerical Mathematics of the Russian Academy of Sciences, 8, Gubkina st., 119333, Moscow, Russia

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

³«Roslesinform», 45, Volgogradskiy av., building 1, 109316, Moscow, Russia

⁴Moscow Institute of Physics and Technology (State University), 9, Institutskiy per., 141700, Dolgoprudny, Moscow reg., Russia

melnik_petr@bk.ru

The issue of increasing the accuracy of tree canopy segmentation structures in the processing of very high spatial resolution satellite images by joint use of textural features extracted by different methods is considered. The TTSPCA method (Total Texture Statistics Principal Component Analysis) is proposed and its effectiveness is shown for a number of test cases. Estimates of TTSPCA effectiveness are obtained for the forest stands segmentation and growth types. The panchromatic Worldview-2 image of the test area (Bronnitskoye forestry, Moscow region) obtained in summer was used as remote data. To perform texture segmentation, in addition to TTSPCA, several standard second-order statistical methods and a spectral (energy) method based on the wavelet transform were also used. It is shown that almost all considered statistical and spectral methods provide forest stand segmentation with errors not exceeding 3–4 %. It has been established that the TTSPCA method makes it possible to reduce the probability of errors in the forest inventory zone, as well as to identify sections with a predominance of natural and artificial plantations with an accuracy of over 85 %. The results obtained can be further recommended for use in order to improve the system we are developing for joint spectral-textural processing of satellite images with different spatial resolutions.

Keywords: Remote sensing, pattern recognition, thematic processing, texture analysis, high-resolution aerospace images, forest canopy segmentation

Suggested citation: Dmitriev Y.V., Melnik P.G., Donskoy S.A., Kondranin T.V. *Povyshenie effektivnosti teksturnoy segmentatsii lesnogo pologa po izobrazheniyam sverkhvysokogo prostranstvennogo razresheniya* [Improving efficiency of tree canopy texture segmentation by using very high spatial resolution satellite images]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2023, vol. 27, no. 5, pp. 25–36. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-5-25-36

References

- [1] McRoberts R.E., Tomppo E.O. Remote sensing support for national forest inventories // *Remote sensing of environment*, 2007, no. 110(4), pp. 412–419.
- [2] Kravtsov 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 sputnikovyykh i nazemnykh dannykh* [Forecast monitoring of the spread of the bark beetle-typographer in spruce planting with using satellite and ground data]. *Trudy BGTU. Ser. 1, Lesnoe khoz-vo, prirodopol'zovanie i pererabotka vozobnovlyayemykh resursov* [Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources], 2022, no. 1 (252), pp. 65–72.
- [3] Shumakov F.T., Tolstokhat'ko V.A., Tamopil'skaya N.P. *Vozmozhnosti ispol'zovaniya kosmicheskikh snimkov dlya resheniya zadach monitoringa lesov* [Possibilities of using satellite images for solving forest monitoring tasks]. *Vostochno-evropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy* [Eastern European Journal of Enterprise Technologies], 2012, no. 11, pp. 25–29.
- [4] Melnik P.G., Karasyov N.N. Productivity of different larch types in Moscow region. *Eurasian Forests — Hungarian Forests: Materials of the VI Int. Conf. of Young Scientists*. Moscow: MSFU, 2006, pp. 83–85.
- [5] Poplavskaya L.F., Rebko S.V., Tupik P.V. *Otsenka kachestva semennogo i posadochnogo materiala sosny obyknovnoy, poluchennogo na gibridno-semennoy plantatsii* [Estimation of quality seed and planting material harvested on hybrid-seeds plantation of *Pinus sylvestris*]. *Trudy BGTU. Ser. 1, Lesnoe khoz-vo* [Proceedings of BSTU], 2018, no. 1 (204), pp. 20–24.
- [6] Getzin S., Wiegand K., Schöning I. Assessing biodiversity in forests using very high-resolution images and unmanned aerial vehicles. *Methods in ecology and evolution*, 2012, no. 3(2), pp. 397–404.
- [7] Merzlenko M.D., Mel'nik P.G. *Znachenie geograficheskikh lesnykh kul'tur v sokhraneni biologicheskogo raznoobraziya drevesnykh rasteniy* [The importance of geographical forest crops in preserving the biological diversity of woody plants]. *Biologicheskoe raznoobrazie lesnykh ekosistem* [Biological diversity of forest ecosystems]. Moscow: Tipografiya Rossel'khozakademii, 1995, pp. 325–327.
- [8] Silva S.D.P., Eugenio F.C., Fantinel R.A., de Paula Amaral L., dos Santos A.R., Mallmann C.L., Ruoso R. Modeling and detection of invasive trees using UAV image and machine learning in a subtropical forest in Brazil. *Ecological Informatics*, 2023, p. 101989.
- [9] Martynyuk A.A. *Innovatsionnye razrabotki VNILM — v praktiku lesnogo khozyaystva* [VNILM innovation developments into forest management practices]. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya* [Forestry information], 2018, no. 3, pp. 3–11. DOI: 10.24419/LHI.2304-3083.2018.3.01
- [10] Schepaschenko D., Karminov V., Moltchanova E., Fedorov S. Russian forest sequesters substantially more carbon than previously reported. *Scientific Reports*, 2021, v. 11, no. 1, p. 12825. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-92152-9>
- [11] Savinykh N.P., Teterin A.A. *Ob ispol'zovanii listvennitsy sibirskoy dlya povysheniya deponirovaniya ugleroda lesami* [On the use of Siberian larch to increase forest carbon storage]. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Biologiya i ekologiya* [Bulletin of Tver State University. Series: Biology and Ecology], 2022, no. 3(67), pp. 83–94.

- [12] Merzlenko M.D., Mel'nik P.G., Mel'nik L.P. *Deponirovanie ugleroda stvolovoy fraktsiei v 100-letnikh lesnykh kul'turakh khvoynykh porod* [Carbon deposit by stem fraction in 100-year-old coniferous species]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2023, vol. 27, no. 2, pp. 5–10. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-2-5-10
- [13] Bartalev S.A., Lupyan E.A. *Issledovaniya i razrabotki IKI RAN po razvitiyu metodov sputnikovogo monitoringa rastitel'nogo pokrova* [R&D on methods for satellite monitoring of vegetation by the Russian Academy of Sciences' Space Research Institute]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Modern problems of remote sensing of the Earth from space], 2013, 10 (1), pp. 197–214.
- [14] Kozoderov V.V., Dmitriev E.V., Kamentsev V.P. *Sistema obrabotki samoletnykh izobrazheniy lesnykh ekosistem po dannym vysokogo spektral'nogo i prostranstvennogo razresheniya* [System for processing airplane images of forest ecosystems based on high spectral and spatial resolution data]. *Issledovanie Zemli iz kosmosa* [Earth Research from space], 2013, no. 6, pp. 57–64.
- [15] Jia K., Liang S., Zhang L., Wei X., Yao Y., Xie X. Forest cover classification using Landsat ETM+ data and time series MODIS NDVI data. *International J. of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2014, no. 33, pp. 32–38.
- [16] Franklin S.E., Hall R.J., Moskal L.M., Maudie A.J., Lavigne M.B. Incorporating texture into classification of forest species composition from airborne multispectral images. *International J. of Remote Sensing*, 2000, no. 21(1), pp. 61–79.
- [17] Johansen K., Phinn S. Mapping structural parameters and species composition of riparian vegetation using IKONOS and Landsat ETM+ data in Australian tropical savannahs. *Photogramm. Eng. Remote. Sens.*, 2006, no. 72 (1), pp. 71–80.
- [18] Mallinis G., Koutsias N., Tsakiri-Strati M., Karteris M. Object-based classification using Quickbird imagery for delineating forest vegetation polygons in a Mediterranean test site. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, 2008, no. 63(2), pp. 237–250.
- [19] Rylov S.A., Mel'nikov P.V., Pestunov I.A. *Spektral'no-teksturnaya klassifikatsiya giperspektral'nykh izobrazheniy vysokogo prostranstvennogo razresheniya* [Spectral and texture classification of high spatial resolution hyperspectral images]. *Interexpo GEO-Siberia*, 2016, vol. 4, no. 1, pp. 78–84.
- [20] 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
- [21] Ferreira M.P., Wagner F.H., Aragão L.E., Shimabukuro Y.E., de Souza Filho C.R. Tree species classification in tropical forests using visible to shortwave infrared WorldView-3 images and texture analysis. *ISPRS J. of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2019, no. 149, pp. 119–131.
- [22] Sibiy B., Lottering R., Odindi J. Discriminating commercial forest species using image texture computed from a worldview-2 pan-sharpened image and partial least squares discriminant analysis. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 2021, no. 23, p. 100605.
- [23] Pekkarinen A. A method for the segmentation of very high spatial resolution images of forested landscapes. *International J. of Remote Sensing*, 2002, no. 23(14), pp. 2817–2836.
- [24] Yang Lu., Huaqing Zh. Very High Resolution Images and Superpixel-Enhanced Deep Neural Forest Promote Urban Tree Canopy Detection. *Remote Sensing*, 2023, no. 15(2), p. 519.
- [25] Chaki J., Dey N. *Texture feature extraction techniques for image recognition*. Singapore: Springer, 2020. 100 p.
- [26] Dmitriev E.V., Kondranin T.V., Zotov S.A. *Segmentatsiya prirodnykh i antropogennykh ob'ektov po pankhromaticheskim sputnikovym izobrazheniyam s ispol'zovaniem statisticheskikh teksturnykh priznakov* [Segmentation of Natural and Anthropogenic Objects by Panchromatic Satellite Images Using Statistical Textural Features]. *Avtometriya* [Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing], 2022, no. 58(2), pp. 167–179.
- [27] Haddad R.A., Akansu A.N. A class of fast Gaussian binomial filters for speech and image processing. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 1991, no. 39(3), pp. 723–727.
- [28] Schowengerdt R.A. *Remote sensing: models and methods for image processing*. Elsevier, 2006, 560 p.
- [29] Humeau-Heurtier A. Texture feature extraction methods: A survey. *Ieee Access*, 2019, no. 7, pp. 8975–9000.
- [30] Haralick R.M., Shanmugam K., Dinstein I.H. Textural features for image classification. *IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics*, 1973, no. 6, pp. 610–621.
- [31] Petrou M.M., Kamata S.I. *Image processing: dealing with texture*. Wiley, 2021, 819 p.
- [32] Chen S., Wu C., Chen D., Tan W. Scene classification based on gray level-gradient co-occurrence matrix in the neighborhood of interest points. *2009 IEEE International Conference on Intelligent Computing and Intelligent Systems*, 2009, no. 4, pp. 482–485.
- [33] Al-Janobi A. Performance evaluation of cross-diagonal texture matrix method of texture analysis. *Pattern Recognition*, 2001, no. 34(1), pp. 171–180.
- [34] Galloway M.M. Texture analysis using gray level run lengths. *Computer graphics and image processing*, 1975, no. 4(2), pp. 172–179.
- [35] Dmitriev E.V. Classification of the Forest Cover of Tver' Region Using Hyperspectral Airborne Imagery. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, 2014, no. 50(9), pp. 929–942.
- [36] Bellman R.E. *Dinamicheskoe programmirovaniye* [Dynamic programming]. M.: Izd. inostrannoy literatury [Foreign literature], 1960, 400 p.
- [37] Wu H., Li M., Zhang M., Zheng J., Shen J. Texture segmentation via scattering transform. *International J. of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition*, 2013, no. 6(2), pp. 165–174.
- [38] Hastie T., Tibshirani R., Friedman J. *The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction*. Springer Series in Statistics, 2008, 745 p.
- [39] Dieterich T.G., Bakiri G. Solving Multiclass Learning Problems via Error-Correcting Output Codes. *J. of Artificial Intelligence Research*, 1995, no. 2, pp. 263–286.

The research was financially supported by the Russian National Foundation under the scientific project № 23-29-00128 «Machine learning methods in the task of automating data processing of space systems for highly detailed monitoring of vegetation cover».

Authors' information

Dmitriev Egor Vladimirovich — Cand. Sci. (Physical and Mathematical), Associate Professor, Senior scientist of Marchuk Institute of Numerical Mathematics of the Russian Academy of Sciences, yegor@mail.ru

Mel'nik Petr Grigor'evich✉ — Cand. Sci. (Agricultural), Associate Professor, BMSTU (Mytishchi branch), melnik_petr@bk.ru

Donskoy Sergey Aleksandrovich — Head of Department, Federal State Budgetary Institution «Roslesinforg», lesshii@bk.ru

Kondranin Timofey Vladimirovich — Dr. Sci. (Physical and Mathematical), Professor, Advisor to the Administration. Moscow Institute of Physics and Technology (National Research University), kondr@kondr.ector.mipt.ru

Received 01.06.2023.

Approved after review 05.06.2023.

Accepted for publication 18.07.2023.

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

РЕГРЕССИОННЫЕ МОДЕЛИ СМЕШАННЫХ ЭФФЕКТОВ ЗАВИСИМОСТИ ВЫСОТЫ ОТ ДИАМЕТРА СТВОЛА В СОСНОВЫХ ДРЕВОСТОЯХ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

Н.Н. Дубенок, А.В. Лебедев✉, В.В. Гостев

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева», Россия, 127550,
Москва, Тимирязевская ул., д. 49

alebedev@rgau-msha.ru

Проанализированы данные обмеров 3571 модельных деревьев сосны, произрастающих на 201 пробной площади из 13 регионов европейской части России от Карелии до Самарской области и от Тверской области до республики Коми. Рассмотрены 28 простых регрессионных зависимостей высоты деревьев от диаметра ствола на высоте 1,3 м от поверхности земли, представленных в стандартной и ограниченной формах. Отбор лучших моделей основывался на принятии в статистике метриках качества, таких как средний процент абсолютной ошибки (*MAPE*), средняя абсолютная ошибка (*MAE*), квадратный корень из среднеквадратической ошибки (*RMSE*), смещение (*Bias*), коэффициент детерминации (R^2), информационные критерии Акаике (*AIC*) и Байеса (*BIC*). Установлено, что наиболее простым и универсальным среди моделей фиксированных эффектов является двухпараметрическое уравнение Неслунда. Для увеличения прогностической способности уравнения Неслунда в качестве случайного эффекта добавлена отдельная пробная площадь, что позволило значительно улучшить метрики качества. Выявлено, что прогнозируемые полученной моделью кривые высот отличаются гибкостью и значительной величиной отклонения от исходные соотношения высоты и диаметра отдельных деревьев. Установлено, что полученная модель смешанных эффектов является аналогом используемых при проведении лесоинвентаризационных работ разрядных таблиц, отражающих лишь относительную зависимость высот деревьев от диаметров на высоте 1,3 м. Указано, что использование в практике лесоучетных работ отраслевых стандартов и нормативов, выведенных на основе разработанной модели смешанных эффектов, будет способствовать увеличению эффективности и рентабельности получения количественных и качественных характеристик древостоев сосны, произрастающих в европейской части России.

Ключевые слова: сосновые древостои, отбор моделей, уравнение Неслунда, модель

Ссылка для цитирования: Дубенок Н.Н., Лебедев А.В., Гостев В.В. Регрессионные модели смешанных эффектов зависимости высоты от диаметра ствола в сосновых древостоях европейской части России // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 5. С. 37–47. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-5-37-47

При проведении перечислительной таксации обязательным условием для установления таксационных характеристик дендроценоза издавна считается определение высоты и диаметра ствола деревьев на высоте 1,3 м от поверхности земли. Процесс обмера деревьев в целях получения сведений о высоте характеризуется значительными трудовыми затратами. В связи с этим при таксации древостоев проводится измерение высоты у 15...25 деревьев. Отсутствующие параметры высот отдельных деревьев возможно получить с использованием таблиц разрядов высот или с помощью эмпирических регрессионных уравнений. Точность расчета экологического, товарного и биологического потенциалов лесов напрямую зависит от качества используемых лесоучетных стандартов.

Для оценивания зависимости высоты деревьев от диаметра ствола на высоте 1,3 м от поверхности земли отечественные специалисты при

лесоинвентаризационных работах применяют таблицы разрядов высот, шкалы которых, по убеждению ряда исследователей [1], содержат значительные неточности, связанные с несовпадением графика высот дендроценоза с уровнем высот кривых в таблицах, что может приводить к существенным ошибкам при определении объемных показателей.

В 2000–2020-е годы за рубежом возрос интерес к применению регрессионных моделей смешанных эффектов, для изучения процессов роста и прироста, связей таксационных показателей как деревьев, так и древостоев [2]. Модели смешанных эффектов активно применяются для аппроксимации влияния таксационного диаметра ствола на высоту деревьев [3–7]. Модели смешанных эффектов характеризуются предварительным прогнозированием изначально заданной кривой высота — диаметр с последующим предсказанием случайного эффекта, калибрующего начальную кривую и обеспечивающего согласование зависимости с исходными данными [8–11].

Модели смешанных эффектов являются усовершенствованным преобразованием регрессионных зависимостей для материалов полевых исследований. Наборы данных по высоте и диаметру ствола часто характеризуются сгруппированной структурой. Подход к моделированию смешанных эффектов служит основным методом анализа этих лесохозяйственных данных [12].

Модели смешанных эффектов выражают зависимость переменной отклика от независимых переменных с варьирующимися по отношению к группирующим переменным коэффициентами. Модели смешанных эффектов включают в себя части фиксированных и случайных эффектов. Компоненты фиксированных эффектов являются стандартными для регрессионных зависимостей, тогда как смешанные эффекты связаны со случайными отдельными единицами полевых данных. Для смешанных эффектов, в отличие от фиксированных, наиболее часто характерно нормальное распределение. Случайная компонента, содержащаяся в моделях смешанных эффектов, способствует соблюдению предположения о независимости наблюдений при повторяющихся измерениях, о чем свидетельствует надежность оценок параметров [2].

Цель работы

Цель работы — разработка регрессионного уравнения, включающего в себя смешанные эффекты, для аппроксимации зависимости высоты деревьев от таксационного диаметра ствола в сосновых древостоях европейской части России.

Материалы и методы

Материалы исследования составляет выборка данных обмера 3571 модельного дерева с 201 пробной площади, а также полевые, архивные и литературные [13–15] данные с пробных площадей Костромской, Владимирской, Тверской, Московской, Архангельской, Самарской, Нижегородской и Ярославской областей, Республики Башкортостан, Республики Коми, Республики Марий Эл, Республики Мордовия и Республики Карелия. Большую часть данных обмера высоты и диаметра стволов сосновых древостоев составляют материалы полевых исследований на пробных площадях, заложенных нами в Костромской, Московской, Владимирской и Тверской областях. Наиболее представлены модельные деревья южно-таежного лесного района, на который приходится более половины (51 %) данных. В районе хвойно-широколиственных (смешанных) лесов собрано 46 % данных. Наименее представлены данные северо-таежного и лесостепного районов (2 и 1 % данных соответственно). Таксационный диаметр стволов обмеренных деревьев сосны составляет 1–65 см, высота — 2–41 м. Возраст измеренных деревьев варьирует от 6 до 375 лет.

Для проведения анализа данные по литературным источникам [16–33] проведен отбор 28 простых регрессионных моделей (табл. 1), 12 из которых представлены в стандартной форме, 16 — в ограниченной. Стандартная форма модели позволяет оценить константы по данным, если модель является линейной или приводимой к линейной форме.

Т а б л и ц а 1

Простые регрессионные модели зависимости высоты деревьев от диаметра ствола на высоте 1,3 м от поверхности земли

Simple regression models of the relationship between tree height and trunk diameter at 1,3 metres above the ground

Номер п/п	Регрессионная модель	Количество параметров	Литературный источник
Группа 1. Модели в стандартной форме			
1	$H = b_0 + b_1 DBH$	2	[16]
2	$H = b_0 + b_1 \ln DBH$	2	[17]
3	$H = b_0 DBH^b$	2	[18]
4	$H = b_0 \frac{1}{(b_0 DBH^{-1})^b}$	2	[19]
5	$H = b_0 + b_1 \frac{DBH}{(DBH + 1)} + b_2 DBH$	3	[20]
6	$H = \frac{b_0}{b_1 + \exp(-b_2 DBH)}$	3	[21]
7	$H = b_0 + \frac{b_1}{\sqrt{DBH}} + \frac{b_2}{DBH} + \frac{b_3}{DBH^2}$	4	[22]

Окончание табл. 1

Номер п/п	Регрессионная модель	Количество параметров	Литературный источник
Группа 1. Модели в стандартной форме			
8	$h = b_0 + b_1\sqrt{DBH} + b_2DBH + b_3DBH^2$	4	[23]
9	$H = b_0 + b_1DBH + b_2DBH^2 + b_3 \log DBH$	4	[21]
10	$H = b_0 \left(1 - b_1 \exp(-b_2DBH^{b_3})\right)$	4	[24]
11	$H = b_0 \left(1 - b_1 \exp(-b_2DBH)\right)^{b_3}$	4	[25]
12	$H = b_0 \left(1 - \exp(-b_1DBH^{b_2})\right)^{b_3}$	4	[26]
Группа 2. Модели в ограниченной форме			
13	$h = 1,3 + \frac{b_1DBH}{b_2DBH}$	2	[26]
14	$h = 1,3 + \frac{b_1DBH}{(DBH + 1) + b_2DBH}$	2	[27]
15	$h = 1,3 + \left(\frac{DBH}{b_1 + b_2DBH}\right)^2$	2	[28]
16	$h = 1,3 + \left(b_1 + \frac{b_2}{DBH}\right)^{-5}$	2	[29]
17	$h = 1,3 + \frac{b_1DBH}{(1 + DBH)^{b_2}}$	2	[22]
18	$h = 1,3 + b_1 \left(\frac{DBH}{(1 + DBH)}\right)^{b_2}$	2	[26]
19	$h = 1,3 + b_1 (\ln(1 + DBH))^{b_2}$	2	[29]
20	$h = 1,3 + b_1DBH \exp(-b_2DBH)$	2	[26]
21	$h = 1,3 + \exp\left(b_1 + \frac{b_2}{DBH}\right)$	2	[30]
22	$h = 1,3 + \frac{DBH^2}{b_1 + b_2DBH + b_3DBH^2}$	3	[31]
23	$h = 1,3 + \frac{b_1}{1 + b_2DBH^{-b_3}}$	3	[26]
24	$h = 1,3 + DBH^{\frac{b_1}{b_2 + b_3DBH^{b_1}}}$	3	[29]
25	$h = 1,3 + b_1 \exp(-b_2 \exp(-b_3DBH))$	3	[31]
26	$h = 1,3 + \frac{b_1}{1 + b_2 \exp(-b_3DBH)}$	3	[31]
27	$h = 1,3 + b_1 \left(1 - \exp(-b_2DBH)\right)^{b_3}$	3	[32]
28	$h = \left(1,3^{b_1} + \left(b_2^{b_1} - 1,3^{b_1}\right) \frac{1 - \exp(-b_3DBH)}{1 - \exp(-100b_3)}\right)^{\frac{1}{b_1}}$	3	[33]
Примечание. h — высота, м; DBH — диаметр на высоте 1,3 м от поверхности земли, см; $b_1...b_3$ — параметры модели.			

Т а б л и ц а 2

Используемые метрики качества моделей

Quality metrics of the models used

Наименование метрики	Формула
Квадратный корень из среднеквадратической ошибки <i>RMSE</i>	$RMSE = \sqrt{\sum \frac{(y_i - \hat{y}_i)^2}{n}}$
Средний процент абсолютной ошибки <i>MAPE</i>	$MAPE = \frac{100 \sum \left \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right }{n}$
Средняя абсолютная ошибка <i>MAE</i>	$MAE = \frac{\sum y_i - \hat{y}_i }{n}$
Абсолютное смещение <i>Bias</i>	$Bias = \hat{y}_i - y_{i30}$
Коэффициент детерминации R^2	$R^2 = 1 - \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2}$
Информационный критерий Акаике <i>AIC</i>	$AIC = 2k + n \ln \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}$
Информационный критерий Байеса <i>BIC</i>	$BIC = k \ln n + n \ln \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}$
<i>Примечание.</i> k — количество параметров модели; n — количество наблюдений; y_i — фактическое значение наблюдения; \hat{y}_i — предсказанное по модели значение наблюдения.	

Нелинейная форма модели свидетельствует о том, что кривая высоты деревьев исходит из начала координат. Кривая высоты деревьев моделей в ограниченной форме всегда берет начало из точки 1,3 м от поверхности земли, что представляет собой диаметр, определяемый на этой высоте при таксации.

Для оценки качества моделей расчетным путем были определены такие метрики качества, как квадратный корень из среднеквадратической ошибки (*RMSE*), средний процент абсолютной ошибки (*MAPE*), средняя абсолютная ошибка (*MAE*), смещение (*Bias*), коэффициент детерминации (R^2), информационные критерии Акаике (*AIC*) и Байеса (*BIC*). Формулы метрик, используемые в расчетах, представлены в табл. 2. Лучшее соответствие модели экспериментальным данным обеспечивается при достижении коэффициентом детерминации максимального значения и минимальных значений информационных критериев, среднеквадратической ошибки и среднего процента абсолютной ошибки.

Модели отбирали путем их ранжирования по рассчитанным метрикам качества (от лучших к худшим). Таким образом, самая лучшая модель характеризовалась наименьшим рангом, а самая худшая — наибольшим. При оценивании нелинейных моделей проводилась проверка на соответствие требованиям, предъявляемым к функ-

циям зависимости высоты от диаметра ствола, согласно которым кривая должна исходить из точки $x = 0, y = 1,3$ и обладать горизонтальной асимптотой, что в противном случае может привести к ошибочным прогнозам при малых диаметрах стволов [34–37].

Для расчета описательных статистик применялся пакет *psych* 2.1.9, 2021-09-22 в *R*. Модели оценивались с помощью нелинейного метода наименьших квадратов пакета *nls* stats 3.6.2, 2019-07-05 в *R*, а модели смешанных эффектов — пакета *nlme* 3.1-155, 2022-01-13 в *R*. Метрики качества рассчитаны по пакетам *Metrics* 0.1.4, 2018-07-09 и *MLmetrics* 1.1.1, 2016-05-13. Визуализация результатов анализа осуществлялась по пакету *ggplot2* 3.3.5, 2021-06-25.

Результаты исследования

Анализ отобранных уравнений показал, что модели № 11 и 12 дают ошибочный прогноз при малых значениях диаметра ствола, в результате чего они были исключены из дальнейшего рассмотрения. Начало кривой моделей, представленных в стандартной форме, не соответствует точке $x = 0, y = 1,3$, что позволяет исключить их из дальнейшего рассмотрения, а также ввиду не соответствия условиям, предъявляемым к моделям связи высоты и таксационных значений диаметра ствола.

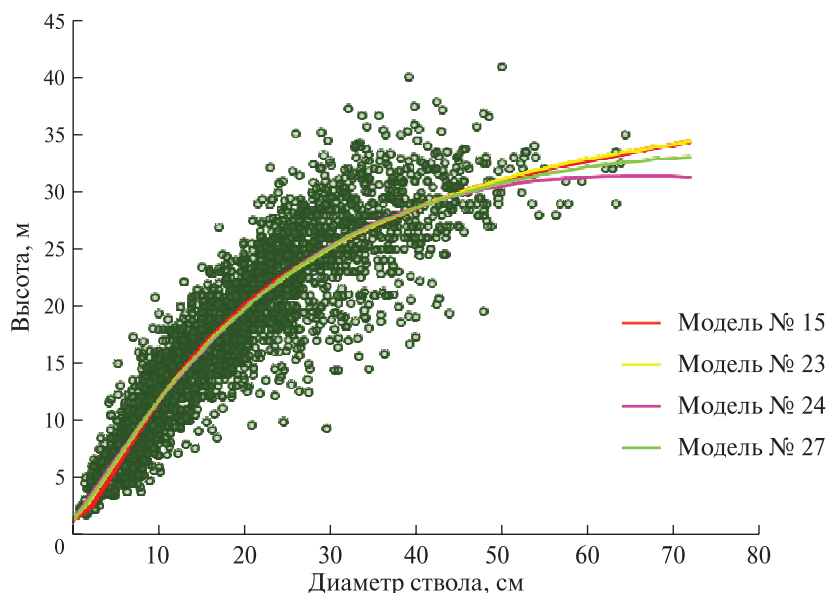


Рис. 1. Визуализация лучших моделей зависимости высоты дерева от диаметра ствола

Fig. 1. Visualisation of the best models of tree height dependence on trunk diameter

В группе 2 моделей в ограниченной форме лучшими можно считать следующие:

№ 15 ($RMSE=2,927$; $MAPE=0,147$; $MAE=2,162$;

$Bias=0,053$; $R^2=0,829$; $AIC=17840$, $BIC=17859$);

№ 23 ($RMSE=2,915$; $MAPE=0,146$; $MAE=2,15$;

$Bias=0,015$; $R^2=0,826$; $AIC=17812$, $BIC=17837$);

№ 24 ($RMSE=2,911$; $MAPE=0,146$; $MAE=2,15$;

$Bias=0,001$; $R^2=0,825$; $AIC=17802$, $BIC=17827$);

№ 27 ($RMSE=2,911$; $MAPE=0,146$; $MAE=2,147$;

$Bias=0,009$; $R^2=0,826$; $AIC=17804$, $BIC=17829$).

Для них все оцениваемые параметры статистически значимы при $p < 0,05$. Графическая визуализация моделей № 15, 23, 24 и 27 представлена на рис. 1. Кривые зависимости высоты дерева от таксационного диаметра ствола берут начало в точке 1,3 м от поверхности земли, а также, за исключением модели № 24, обладают горизонтальными асимптотами.

Поскольку модель № 24 не имеет горизонтальной асимптоты, она при большой толщине стволов дает занижение прогнозируемых значений высоты деревьев. Тест отношения правдоподобия при $p < 0,001$ показал, что двухпараметрическая модель № 15 (уравнение Неслунда) не уступает по качеству трехпараметрическим моделям. Поэтому как более простую и универсальную ее можно признать лучшей.

Наилучшей прогностической способностью обладают модели смешанных эффектов, так как позволяют прогнозировать индивидуальную кривую высоты для каждого отдельно взятого дерева. В связи с этим для уравнения Неслунда выполнена оценка фиксированных параметров и случайных эффектов. Модель № 15 после до-

бавления случайных эффектов, где в качестве фиксированных эффектов будут выступать параметры b_1 и b_2 , а в качестве случайного эффекта — отдельная пробная площадь, имеет вид

$$h_{ij} = 1,3 + \left(\frac{DBH_{ij}}{b_1 + \beta_{1i} + (b_2 + \beta_{2i}) DBH_{ij}} \right)^2 + \varepsilon_{ij},$$

где h_{ij} — высота для дерева j из выборки i , м;

$b_1 \dots b_3$ — параметры модели;

$\beta_{1i} \dots \beta_{2i}$ — вектор случайных эффектов для отдельного перечета из выборки i , имеющий нормальное распределение с нулевым средним и стандартным отклонением $\sigma_{\beta_{1i}}$;

DBH_{ij} — диаметр на высоте 1,3 м от поверхности земли для дерева j из выборки i , см;

ε_{ij} — вектор остатков, имеющий нормальное распределение с нулевым средним и стандартным отклонением σ .

В табл. 3 представлено сравнение статистических оценок параметров и критериев качества для моделей, содержащих фиксированные и смешанные эффекты. Все оценки параметров и компоненты дисперсии модели, содержащей смешанные эффекты, обладают высокой статистической значимостью при $p < 0,001$. Существенно улучшенные метрики качества позволяют заключить, что модель смешанных эффектов более точно предсказывает зависимость между высотой и диаметром стволов деревьев по сравнению с моделью фиксированных эффектов. Практически в 2 раза снизились значения метрик $RMSE$, $MAPE$ и MAE . Доля объясненной моделью дисперсии увеличилась с 82,9 до 96,2 %.

**Сравнение итоговых оценок для моделей фиксированных и смешанных эффектов
(модель № 15 — уравнение Неслунда)**

**Comparison of final estimates for fixed and mixed effects models
(model №15 — Neslund equation)**

Компоненты	Параметр	Оценка	Оценка гипотезы		Метрики качества модели					
			<i>t</i> -статистика	<i>p</i> -value	<i>RMSE</i>	<i>MAPE</i>	<i>MAE</i>	<i>R</i> ²	<i>AIC</i>	<i>BIC</i>
Модель фиксированных эффектов										
Фиксированные	b_1	4,143e+01	5,199e+01	< 2e-16	2,927	0,147	2,162	0,829	17840	17859
	b_2	2,431e+01	2,607e+01	< 2e-16						
Модель смешанных эффектов										
Фиксированные	b_1	3,544e+01	3,460e+01	< 2e-16	1,445	0,751	1,064	0,962	14369	14405
	b_2	1,734e+01	1,462e+01	< 2e-16						
Случайные	$\sigma_{\beta_{1i}}$	7,198e+00	—	—						
	$\sigma_{\beta_{2i}}$	8,234e+00	—	—						
	$corr(\sigma_{\beta_{1i}}, \sigma_{\beta_{2i}})$	9,490e-01	—	—						
	σ	1,231e+00	—	—						

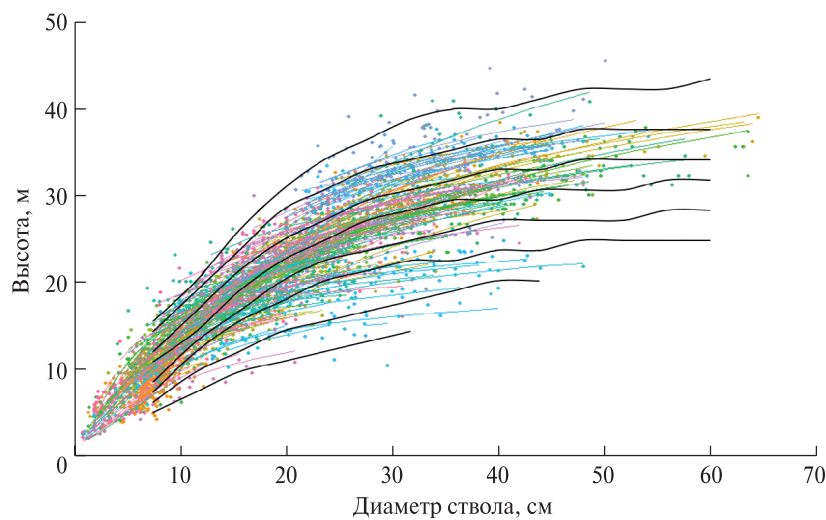


Рис. 2. Сопоставление прогнозируемых кривых высот для отдельных пробных площадей и шкалы разрядов высот сосновых древостоев естественного происхождения: точки — данные для отдельных деревьев; цветные линии — прогнозируемые кривые высот для отдельных пробных площадей; черные линии — шкала разрядов высот сосновых древостоев естественного происхождения [38]

Fig. 2. Comparison of predicted height curves for individual sample plots and the scale of pine stands of natural origin: dots — data for individual trees; coloured lines — predicted height curves for individual sample plots; black lines — scale of natural origin pine stands [38]

Результаты и обсуждение

Полученная нами модель смешанных эффектов способна с высокой точностью предсказать значения высоты деревьев в конкретных дендрозонах, что подтверждает ранее проведенные нами исследования, в которых отдается предпочтение двухпараметрическим моделям [2, 10].

Сопоставление прогнозируемых кривых высот деревьев для отдельных пробных площадей и шкалы разрядов высот сосновых древостоев естественного происхождения по «Сортиментным и товарным таблицам для лесов Центральных и Южных районов европейской части РФ» [38, 39] представлено на рис. 2.

Из рис. 2 следует, что точность прогноза полученной модели смешанных эффектов достаточно высокая, что обеспечивает прогнозирование специфической кривой для каждого отдельно взятого древостоя. Прогнозируемые кривые высоты древостоев отличаются гибкостью и значительной величиной отклика на исходные соотношения высоты и диаметра стволов отдельных деревьев. Шкалы разрядов высот существенно расходятся с реальными данными, что впоследствии при определении разрядов высоты и объема ствола может привести к значительным неточностям при определении запасов древесины и выхода отдельных сортиментов. Таким образом, действующие в настоящее время нормативы таксации лесов, которые были составлены и утверждены более 30 лет назад, не отражают особенности конкретных дендроценозов, поэтому остро встал вопрос актуализации лесотаксационных нормативов ввиду глобальных преобразований климата.

Выводы

Предложенная методика прогнозирования кривых высоты дендроценоза обладает некоторыми преимуществами по сравнению с классическими методами. Она предоставляет возможность анализировать основные характеристики кривых высоты, а также использовать среднюю линию высоты дендроценоза для предсказания высоты отдельных деревьев в любом возрасте.

Результаты нашего исследования согласуются с отечественной [2, 6, 9, 10] и зарубежной [8, 12] практиками применения регрессионных моделей смешанных эффектов для прогнозирования высоты при известных значениях диаметра ствола деревьев.

Полученная модель смешанных эффектов представляет собой основу для получения обобщенных моделей, которые помимо таксационного диаметра стволов отдельных деревьев на высоте 1,3 м от поверхности земли будут включать в себя различные характеристики дендроценоза.

Модели смешанных эффектов служат альтернативой используемым при инвентаризации лесных массивов разрядным таблицам, показывающим условные соотношения между высотой и таксационными значениями диаметра ствола деревьев. Они позволяют осуществить калибровку кривой высоты по 3–5 измерениям высоты и диаметра ствола деревьев в таксируемом дендроценозе. Использование модели позволяет увеличить точность определения запасов древесины и выхода товарных сортиментов в древостоях сосны европейской части России.

В совокупности с моделями распределения деревьев по толщине модели зависимости высоты от диаметра ствола, включающие в себя смешан-

ные эффекты, можно включить в виде отдельного компонента в имитационные модели роста и производительности древостоев, где они являются основой для определения запаса древесины, его товарной структуры, а также биологической продуктивности.

Большинство отобранных моделей имеет нелинейную структуру. Лучшей моделью, отражающей зависимость высоты деревьев от диаметра ствола на высоте 1,3 м от поверхности земли для древостоев сосны европейской части России признана двухпараметрическая функция Неслунда. Включение случайных эффектов по отдельной пробной площади предоставило возможность существенного увеличения точности прогнозирования. Применение отраслевых таксационных нормативов, разработанных на базе моделей смешанных эффектов, позволит существенно увеличить эффективность и рентабельность учета древесных ресурсов в сосновых древостоях.

Список литературы

- [1] Кузьмичев В.В., Неповинных А.Г. Обобщенная зависимость высот от диаметров в сосновых древостоях // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета, 2008. № 41. С. 286–292.
- [2] Лебедев А.В., Кузьмичев В.В. Регрессионные модели смешанных эффектов в лесохозяйственных исследованиях // Сибирский лесной журнал, 2021. № 1. С. 13–20. DOI 10.15372/SJFS20210102
- [3] Krisnawati H., Wang Y., Ades P. Generalized Height-Diameter Models for *Acacia mangium* wildl. Plantations in South Sumatra // Indonesian J. of Forestry Research, 2010, v. 7. DOI: 10.20886/ijfr.2010.7.1.1-19
- [4] Adamec Z. Comparison of linear mixed effects model and generalized model of the tree height-diameter relationship // J. of forest science, 2016, no. 61, pp. 439–447.
- [5] Filho A.C., Mola-Yudego B., Ribeiro A., Scolforo J.R., Loos R.A., Scolforo H.F. Height-diameter models for *eucalyptus* sp. plantations in Brazil // *Cerne*, 2018, no. 24, pp. 9–17.
- [6] Дубенок Н.Н., Кузьмичев В.В., Лебедев А.В. Модель смешанных эффектов зависимости высот от диаметров деревьев в сосновых древостоях // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии, 2021. Вып. 237. С. 59–74. DOI: 10.21266/2079-4304.2021.237.59-74
- [7] Corral-Rivas S., Silva-Antuna A.M., Quinonez-Barraza Y.G. A generalized nonlinear height-diameter model with mixed-effects for seven *pinus* species in Durango // *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 2019, v. 10 (53), pp. 86–117
- [8] Sharma R.P., Vacek Z., Vacek S. Nonlinear mixed effect height-diameter model for mixed species forests in the central part of the Czech Republic // *J. of Forest Science*, 2016, no. 62 (10), pp. 470–484. DOI: 10.17221/41/2016-JFS
- [9] Лебедев А.В., Кузьмичев В.В. Верификация трехпараметрических моделей зависимости высоты от диаметра на высоте груди для березовых древостоев Европейской части России // Сибирский лесной журнал, 2020. № 5. С. 45–54. DOI 10.15372/SJFS20200505

- [10] Лебедев А.В., Кузьмичев В.В. Проверка двухпараметрических моделей зависимости высоты от диаметра на высоте груди в березовых древостоях // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии, 2020. № 230. С. 100–113.
DOI 10.21266/2079-4304.2020.230.100-113
- [11] Mehtätalo L., de-Miguel S., Gregoire T.G. Modeling height-diameter curves for prediction // Canadian J. of Forest Research, 2015, no. 45, pp. 826–837.
- [12] Patricio M.S., Dias C.R., Nunes L.F. Mixed-effects generalized height-diameter model: A tool for forestry management of young sweet chestnut stands // Forest Ecology and Management, 2022, v. 514, p. 120209.
DOI: 10.1016/j.foreco.2022.120209
- [13] Макулов Ф.Т. Ход роста и биопродукционные показатели лесных культур сосны обыкновенной в условиях Предуралья: дис. ... канд. с-х наук: 06.03.02. Уфа, 2016. 138 с.
- [14] Кутявин И.Н. Сосновые леса Северного Приуралья: строение, рост, продуктивность. Сыктывкар: Изд-во ИБ Коми НЦ УрО РАН, 2018. 176 с. DOI: 10.31140/book-2018-02
- [15] Усольцев В.А. Фитомасса модельных деревьев лесобразующих пород Евразии: база данных, климатически обусловленная география, таксационные нормативы. Екатеринбург: Изд-во УГЛТУ, 2016. 335 с.
- [16] Larsen D.R., Hann D.W. Equations for predicting diameter and squared diameter inside bark at breast height for six major conifers of southwest Oregon // Research Note 77. Corvallis, OR: Forest Research Laboratory, Oregon State Univ., 1985, p. 4.
- [17] Henriksen H.A. Height/diameter curve with logarithmic diameter: brief re-report on a more reliable method of height determination from height curves, introduced by the State Forest Research Branch // Dansk Skovforeningens Tidsskrift, 1950, v. 35, no. 4, pp. 193–202.
- [18] Stoffels A., van Soest J. The main problems in sample plots // Ned Boschb Tijdschr, 1953, no. 25, pp. 190–199.
- [19] Ogana F.N. Comparison of a modified log-logistic distribution with established models for tree height prediction // J. of Research in Forestry, Wildlife & Environment, 2018, no. 10 (2), pp. 49–55.
- [20] Watts S.B., Tolland L. Forestry handbook for British Columbia. Vancouver, BC: Univ. of British Columbia, 2005, pp. 1–769.
- [21] Pearl R., Reed L.J. On the rate of growth of the population of the United States since 1790 and its mathematical representation // Proc Natl Acad Sci USA, 1920, no. 6(6), pp. 275–288.
- [22] Curtis R.O. Height-diameter and height-diameter-age equations for second growth Douglas-fir // Forest Science, 1967, no. 13, pp. 365–375.
- [23] Атрощенко О.А. Моделирование роста леса и лесохозяйственных процессов. Минск: Изд-во БГТУ, 2004, 249 с.
- [24] Bailey R.L. The potential of Weibull type functions as flexible growth curves: discussion // Can J For Res., 1979, no. 10, pp. 117–118.
- [25] Richards F.J. A flexible growth function for empirical use // J Exp Bot., 1959, № 10 (2), pp. 290–300.
- [26] Huang S., Price D., Titus S.J. Development of ecoregion-based height-diameter models for white spruce in boreal forests // Forest Ecology and Management, 2000, № 129 (1), pp. 125–141.
- [27] Bates D.M., Watts D.G. Relative curvature measures of nonlinearity // J. of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological), 1980, no. 42 (1), pp. 1–25.
- [28] Näslund M. Thinning experiments in pine forest conducted by the forest experiment station // Meddelanden fran Statens Skogsforsöksanstalt, 1936, no. 29, pp. 1–169.
- [29] El Mamoun H.O., El Zein A.I., El Mugira M.I. Modelling Height-Diameter Relationships of Selected Economically Important Natural Forests Species // J. of Forest Products & Industries, 2013, no. 2(1), pp. 34–42.
- [30] Staudhammer C., LeMay V. Height prediction equations using diameter and stand density measures // The Forestry Chronicle, 2000, no. 76 (2), pp. 303–309.
- [31] Huang S., Titus S.J., Wiens D.P. Comparison of nonlinear height-diameter functions for major Alberta tree species // Canadian J. of Forest Research, 1992, no. 22 (9), pp. 1297–1304.
- [32] Peng C., Zhang L., Liu J. Developing and validating nonlinear height-diameter models for major tree species of Ontario's boreal forests // Northern J. of Applied Forestry, 2001, no. 18 (3), pp. 87–94.
- [33] Schnute J. A versatile growth model with statistically stable parameters // Canadian J. of Forest Research, 1981, no. 38, pp. 1128–1140.
- [34] Подмаско Б.И. Инвентаризация лиственных лесов севера Дальнего Востока СССР методом камерального дешифрирования аэроснимков: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М., 1973. 24 с.
- [35] Дубенок Н.Н., Кузьмичев В.В., Лебедев А.В. Результаты экспериментальных работ за 150 лет в Лесной опытной дачи Тимирязевской академии. РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева. М.: Наука, 2020. 382 с
- [36] Lebedev A., Kuzmichev V. Verification of two- and three-parameter simple height-diameter models for the birch in the European part of Russia // J. For. Sci., 2020, no. 66, pp. 375–382.
- [37] Lebedev A.V. New generalised height-diameter models for the birch stands in European Russia // Baltic Forestry, 2020, v. 26, no 2, pp. 1–7. DOI 10.46490/BF499
- [38] Сортиментные и товарные таблицы для лесов центральных и южных районов европейской части РСФСР. Утверждены председателем Гослесхоза СССР А.И. Зверевым, приказ № 258 от 23.12.1986 г.
- [39] Хлюстов В.К., Лебедев А.В. Товарно-денежный потенциал древостоев и оптимизация лесопользования. Иркутск: Мегаринт, 2017. 328 с.

Сведения об авторах

Дубенок Николай Николаевич — д-р с.-х. наук, профессор, академик РАН, зав. кафедрой сельскохозяйственных мелиораций, лесоводства и землеустройства, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева», ndubenok@mail.ru

Лебедев Александр Вячеславович [✉] — канд. с.-х. наук, доцент кафедры сельскохозяйственных мелиораций, лесоводства и землеустройства, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева», alebedev@rgau-msha.ru

Гостев Владимир Викторович — ассистент кафедры сельскохозяйственных мелиораций, лесоводства и землеустройства, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева», vgostev@internet.ru

Поступила в редакцию 09.12.2022.

Одобрено после рецензирования 20.03.2023.

Принята к публикации 18.07.2023.

MIXED-EFFECT REGRESSION MODELS OF HEIGHT VERSUS TRUNK DIAMETER DEPENDENCE IN PINE STANDS IN EUROPEAN PART OF RUSSIA

N.N. Dubenok, A.V. Lebedev[✉], V.V. Gostev

Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 49, Timiryazevskaya st., 127550, Moscow, Russia

alebedev@rgau-msha.ru

Evaluation of the relationship between tree heights and diameters in the course of logging sites can be done through the use of tables of height categories or regression models. Models of mixed effects make it possible to improve the accuracy of forest inventory to a large extent. The purpose of the study is to develop a mixed effects model for describing the dependence of heights on the diameters of pine trees in the European part of Russia. In the course of study we used the data from measurements of 3 571 model pine trees growing on 201 trial plots from 13 regions of the European part of Russia from Karelia to the Samara region and from the Tver region to the Komi Republic. The paper analyzes 28 simple regression models of the dependence of height on diameter, selected according to literary sources. The selection of the best models was based on quality metrics accepted in statistics, such as the square root of the root mean square error (RMSE), the average percentage of absolute error (MAPE), the average absolute error (MAE), bias (Bias), coefficient of determination (R^2), information criteria Akaike (AIC) and Bayesian (BIC). The two-parameter Neslund equation is recognized as the most simple and universal among the fixed effects models. To increase the predictive power of the Neslund equation, a separate trial plot was added as a random effect, which made it possible to significantly improve the quality metrics. It has been established that the height curves predicted by the obtained model are flexible and have a significant response to the initial ratios of the height and diameter of individual trees. The resulting model of mixed effects is an alternative to the tables of height categories used in the practice of forest accounting, which show only conditional relationships between the heights and diameters of trees. The introduction of industry standards developed on the basis of the model will improve the efficiency of accounting for wood resources in pine forests in the European part of Russia.

Keywords: pine stands, model selection, Neslund equation, mixed effects models

Suggested citation: Dubenok N.N., Lebedev A.V., Gostev V.V. *Regressiionnye modeli smeshannykh effektov zavisimosti vysoty ot diametra stvola v sosnovykh drevostoyakh evropeyskoy chasti Rossii* [Mixed-effect regression models of height versus trunk diameter dependence in pine stands in european part of Russia]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2023, vol. 27, no. 5, pp. 37–47. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-5-37-47

References

- [1] Kuz'michev V.V., Nepovinnykh A.G. *Obobshchennaya zavisimost' vysot ot diametrov v sosnovykh drevostoyakh* [Generalized dependence of heights on diameters in pine stands]. *Politematicheskiy setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University], 2008, no. 41, pp. 286–292.
- [2] Lebedev A.V., Kuz'michev V.V. *Regressiionnye modeli smeshannykh effektov v lesokhozyaystvennykh issledovaniyakh* [Regression Models of Mixed Effects in Forestry Research]. *Sibirskiy lesnoy zhurnal* [Siberian Forest Journal], 2021, no. 1, pp. 13–20. DOI 10.15372/SJFS20210102
- [3] Krisnawati H., Wang Y., Ades P. Generalized Height-Diameter Models for Acacia mangium willd. Plantations In South Sumatra. *Indonesian J. of Forestry Research*, 2010, v. 7. DOI: 10.20886/ijfr.2010.7.1.1-19

- [4] Adamec Z. Comparison of linear mixed effects model and generalized model of the tree height-diameter relationship. *J. of forest science*, 2016, no. 61, pp. 439–447.
- [5] Filho A.C., Mola-Yudego B., Ribeiro A., Scolforo J.R., Loos R.A., Scolforo H.F. Height-diameter models for eucalyptus sp. plantations in Brazil. *Cerne*, 2018, no. 24, pp. 9–17.
- [6] Dubenok N.N., Kuz'michev V.V., Lebedev A.V. *Model' smeshannykh effektov zavisimosti vysot ot diametrov derev'ev v sosnovykh drevostoyakh* [Mixed effects model of height versus tree diameter in pine stands]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [Proceedings Saint-Petersburg State Forestry University], 2021, v. 237, pp. 59–74. DOI: 10.21266/2079-4304.2021.237.59-74
- [7] Corral-Rivas S., Silva-Antuna A.M., Quinonez-Barraza Y.G. A generalized nonlinear height-diameter model with mixed-effects for seven pinus species in Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 2019, v. 10 (53), pp. 86–117
- [8] Sharma R.P., Vacek Z., Vacek S. Nonlinear mixed effect height-diameter model for mixed species forests in the central part of the Czech Republic. *J. of Forest Science*, 2016, no. 62 (10), pp. 470–484. DOI: 10.17221/41/2016-JFS
- [9] Lebedev A.V., Kuz'michev V.V. *Verifikatsiya trekhparametricheskikh modeley zavisimosti vysoty ot diametra na vysote grudi dlya berezovykh drevostoev Evropeyskoy chasti Rossii* [Verification of three-parameter models of the dependence of height on diameter at breast height for birch stands in the European part of Russia]. *Sibirskiy lesnoy zhurnal* [Siberian Forest Journal], 2020, no. 5, pp. 45–54. DOI 10.15372/SJFS20200505
- [10] Lebedev A.V., Kuz'michev V.V. *Proverka dvukhparametricheskikh modeley zavisimosti vysoty ot diametra na vysote grudi v berezovykh drevostoyakh* [Verification of two parametric models of height versus diameter at breast height in birch stands]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [Proceedings Saint-Petersburg State Forestry University], 2020, no. 230, pp. 100–113. DOI 10.21266/2079-4304.2020.230.100-113
- [11] Mehtätälö L., de-Miguel S., Gregoire T.G. Modeling height-diameter curves for prediction. *Canadian J. of Forest Research*, 2015, no. 45, pp. 826–837.
- [12] Patrício M.S., Dias C.R., Nunes L.F. Mixed-effects generalized height-diameter model: A tool for forestry management of young sweet chestnut stands. *Forest Ecology and Management*, 2022, v. 514, p. 120209. DOI: 10.1016/j.foreco.2022.120209
- [13] Makulov F.T. *Khod rosta i bioproduktsionnye pokazateli lesnykh kul'tur sosny obyknovennoy v usloviyakh Predural'ya* [The course of growth and bioproduction indicators of forest plantations of Scotch pine in the conditions of the Cis-Urals]. Diss. Cand. Sci. (Agric.). Ufa, 2016, 138 p.
- [14] Kut'yavin I.N. *Sosnovye lesa Severnogo Priural'ya: stroenie, rost, produktivnost'* [Pine forests of the Northern Urals: structure, growth, productivity]. Syktyvkar: IB Komi NC UrO RAN, 2018, 176 p. DOI: 10.31140/book-2018-02
- [15] Usol'tsev V.A. *Fitomassa model'nykh derev'ev lesobrazuyushchikh porod Evrazii: baza dannykh, klimaticheskii obuslovlennaya geografiya, taksatsionnye normativy* [Single-tree biomass of forest-forming species in Eurasia: database, climate-related geography, mensuration standards]. Ekaterinburg: UGLTU, 2016, 338 p.
- [16] Larsen D.R., Hann D.W. Equations for predicting diameter and squared diameter inside bark at breast height for six major conifers of southwest Oregon. *Research Note 77*. Corvallis, OR: Forest Research Laboratory, Oregon State Univ., 1985, p. 4.
- [17] Henriksen H.A. Height/diameter curve with logarithmic diameter: brief re-port on a more reliable method of height determination from height curves, introduced by the State Forest Research Branch. *Dansk Skovforeningens Tidsskrift*, 1950, v. 35, no. 4, pp. 193–202.
- [18] Stoffels A., van Soest J. The main problems in sample plots. *Ned Boschb Tijdschr*, 1953, no. 25, pp. 190–199.
- [19] Ogana F.N. Comparison of a modified log-logistic distribution with established models for tree height prediction. *J. of Research in Forestry, Wildlife & Environment*, 2018, no. 10 (2), pp. 49–55.
- [20] Watts S.B., Tolland L. *Forestry handbook for British Columbia*. Vancouver, BC: Univ. of British Columbia, 2005, pp. 1–769.
- [21] Pearl R., Reed L.J. On the rate of growth of the population of the United States since 1790 and its mathematical representation. *Proc Natl Acad Sci USA*, 1920, no. 6(6), pp. 275–288.
- [22] Curtis R.O. Height-diameter and height-diameter-age equations for second growth Douglas-fir. *Forest Science*, 1967, no. 13, pp. 365–375.
- [23] Atroshchenko O.A. *Modelirovanie rosta lesa i lesokhozyaystvennykh protsessov* [Modeling forest growth and forestry processes]. Minsk: BGTU, 2004, 249 p.
- [24] Bailey R.L. The potential of Weibulltype functions as flexible growth curves: discussion. *Can J For Res.*, 1979, no. 10, pp. 117–118.
- [25] Richards F.J. A flexible growth function for empirical use. *J Exp Bot.*, 1959, № 10 (2), pp. 290–300.
- [26] Huang S., Price D., Titus S.J. Development of ecoregion-based height-diameter models for white spruce in boreal forests. *Forest Ecology and Management*, 2000, № 129 (1), pp. 125–141.
- [27] Bates D.M., Watts D.G. Relative curvature measures of nonlinearity. *J. of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, 1980, no. 42 (1), pp. 1–25.
- [28] Näslund M. Thinning experiments in pine forest conducted by the forest experiment station. *Meddelanden fran Statens Skogsforsoksanstalt*, 1936, no. 29, pp. 1–169.
- [29] El Mamoun H.O., El Zein A.I., El Mugira M.I. Modelling Height-Diameter Relationships of Selected Economically Important Natural Forests Species. *J. of Forest Products & Industries*, 2013, no. 2(1), pp. 34–42.
- [30] Staudhammer C., LeMay V. Height prediction equations using diameter and stand density measures. *The Forestry Chronicle*, 2000, no. 76 (2), pp. 303–309.
- [31] Huang S., Titus S.J., Wiens D.P. Comparison of nonlinear height-diameter functions for major Alberta tree species. *Canadian J. of Forest Research*, 1992, no. 22 (9), pp. 1297–1304.
- [32] Peng C., Zhang L., Liu J. Developing and validating nonlinear height-diameter models for major tree species of Ontario's boreal forests. *Northern J. of Applied Forestry*, 2001, no. 18 (3), pp. 87–94.
- [33] Schnute J. A versatile growth model with statistically stable parameters. *Canadian J. of Forest Research*, 1981, no. 38, pp. 1128–1140.

- [34] Podmasko B.I. *Inventarizatsiya listvennichnykh lesov severa Dal'nego Vostoka SSSR metodom kameral'nogo deshifirovaniya aerosnimkov* [Inventory of larch forests in the north of the Far East of the USSR by the method of cameral interpretation of aerial photographs]. Dis. Cand. Sci. (Agric.). M., 1973, 24 p.
- [35] Dubenok N.N., Kuz'michev V.V., Lebedev A.V. *Rezultaty eksperimental'nykh rabot za 150 let v Lesnoy opytной dachi Timiryazevskoy akademii. RGAU-MSKha im. K.A. Timiryazeva* [The results of experimental work for 150 years in the Forest experimental dacha of the Timiryazev Academy] Moscow: Nauka, 2020, 382 p.
- [36] Lebedev A., Kuz'michev V. Verification of two- and three-parameter simple height-diameter models for the birch in the European part of Russia. *J. For. Sci.*, 2020, no. 66, pp. 375–382.
- [37] Lebedev A.V. New generalised height-diameter models for the birch stands in European Russia. *Baltic Forestry*, 2020, v. 26, no 2, pp. 1–7. DOI 10.46490/BF499
- [38] *Sortimentnye i tovarnye tablitsy dlya lesov tsentral'nykh i yuzhnykh rayonov evropeyskoy chasti RSFSR. Utverzhden predsedatelem Gosleskhoza SSSR A.I. Zverevym, prikaz № 258 ot 23.12.1986 g.* [Sorting and commodity tables for forests of the central and southern regions of the european part of the RSFSR].
- [39] Khlyustov V.K., Lebedev A.V. *Tovarno-denezhnyy potentsial drevostoev i optimizatsiya lesopol'zovaniya* [Commodity-money potential of forest stands and optimization of forest management]. Irkutsk: Megaprint, 2017. 328 p.

Authors' information

Dubenok Nikolay Nikolaevich — Dr. Sci. (Agriculture), Professor, Academician of RAS, Head of the Department of Agricultural Reclamation, Forestry and Land Management at Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, ndubenok@mail.ru

Lebedev Aleksandr Viacheslavovich — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Department of Agricultural Meliorations, Forestry and Land Organization, Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, alebedev@rgau-msha.ru

Gostev Vladimir Viktorovich — assistant of the Department of Agricultural Meliorations, Forestry and Land Organization, Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, vgstev@internet.ru

Received 09.12.2022.

Approved after review 20.03.2023.

Accepted for publication 18.07.2023.

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

ВОЗДЕЙСТВИЕ ЧЕРНОГО УГЛЕРОДА И ДРУГИХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ЛИНЕЙНЫЕ ПРИРОСТЫ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*PINUS SYLVESTRIS* L.) НА ТЕРРИТОРИИ ЗАПОВЕДНИКА «КИВАЧ»

О.В. Максимова^{1,2}, А.Е. Кухта^{1✉}, С.А. Коротков^{3,4}

¹ФГБУ «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля» (ФГБУ «ИГКЭ»), Россия, 107258, Москва, ул. Глебовская, д. 20Б

²ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет МИСИС (НИТУ «МИСИС»), Россия, 119049, Москва, Ленинский пр-кт, д. 4, стр. 1

³ФГБОУ 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

⁴ФГБУН «Институт лесоведения Российской академии наук» (ИЛАН РАН), Россия, 143030, Московская обл., Одинцовский р-н, с. Успенское, ул. Советская, д. 21

anna_koukhata@mail.ru

Исследовано воздействие осаджений черного углерода на приросты сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в фоновом районе — на территории государственного природного заповедника «Кивач». Для тех же древостоев выявлены отклики на кумулятивное воздействие осадков и температур предыдущего и текущего вегетационных сезонов. Используются стандартные методы измерения и анализа линейных приростов. Получены незначимые отклики приростов сосны на хроническое воздействие низких концентраций черного углерода, характерные для территорий, исключенных из хозяйственной деятельности. Для разных условий произрастания обнаружены и проанализированы сигналы кумулятивных осадков и средних температур в рядах приростов. Выявлена лимитирующая роль осадков в сухих биотопах и температур во влажных местообитаниях для сосны обыкновенной Государственного природного заповедника «Кивач».

Ключевые слова: сосна обыкновенная, линейный прирост, черный углерод, температура, осадки

Ссылка для цитирования: Максимова О.В., Кухта А.Е., Коротков С.А. Воздействие черного углерода и других климатических факторов на линейные приросты сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) на территории заповедника «Кивач» // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 5. С. 48–59.
DOI: 10.18698/2542-1468-2023-5-48-59

Исследования антропогенного воздействия изменений климата и атмосферных выпадений загрязняющих веществ на биогеоценозы являются одними из самых актуальных направлений современной экологии. В частности, внимание исследователей привлекает влияние на хвойные породы хронического атмосферного загрязнения, вызывающего изменения структурно-функциональных характеристик отдельных деревьев и древостоев, изменения структуры сообществ, нарушения в состоянии хвои, ее продолжительности жизни [1, 2].

В 2000–2020-е годы пристальное внимание ученых обращено на изучение вклада в изменение климата выбросов сажи и дыма от неполного сгорания органических веществ. Черный углерод (ЧУ) является основным компонентом сажи, которая состоит из частиц углерода с примесями и также содержит органический углерод. Этот компонент сажи является одним из самых значимых факторов воздействия на региональный климат [3–5] и представляет собой наиболее активную часть взвешенных частиц размером менее 2,5 микрон

(смесь пыли, золы, сажи, дыма, сульфатов, нитратов и других химических соединений), абсорбирующую солнечную радиацию и приводящую к излучению инфракрасной (тепловой) радиации. Таким образом, выбросы ЧУ вызывают загрязнение атмосферного воздуха и прогрев облаков. Этот эффект приводит не только к увеличению температуры окружающего воздуха, но и к изменению характера осадков в регионах [3]. При этом в процессе переноса частицы ЧУ обрастают другими соединениями, что может сильно менять их свойства, оказывая воздействие на биогеоценозы. Поэтому важно рассмотреть его влияние на биоту как обособленно, так и во взаимодействии с другими климатическими факторами. Время пребывания ЧУ в атмосфере существенно короче (недели или месяцы) в отличие от аналогичного периода для CO₂, поэтому отклик климатической системы на выбросы ЧУ может проявиться достаточно быстро.

Сажа и ее компоненты являются загрязняющим веществом и наряду с иными химическими агентами оказывают негативное влияние на биологические объекты, в частности деревья. Однако несмотря на обширные отечественные

и зарубежные публикации, посвященные воздействию различных загрязнителей на растения, вопрос о характере влияния сажи на дендрофлору освещен крайне слабо, хотя эти частицы субмикронного диапазона составляют важную часть выбросов от промышленных источников, выхлопных газов автотранспорта и лесных пожаров [6, 7].

Пылевидные частицы сажи не обладают высокой реакционной способностью и являются рН-нейтральными, однако оказывают негативное физическое воздействие на листовую аппарат растений, образуя чехол, препятствующий нормальному тепло- и влагообмену листа с атмосферой и уменьшающий доступ света к растению (последний фактор вызывает повышение температуры запыленных листьев на 1...1,50 °С). Следствием этого процесса будет возникновение водного дефицита у растений. Зарегистрированы и столь важные для лесных экосистем последствия, как снижение продуктивности фотосинтеза [8, 9]. У всех исследованных видов наблюдается деструкция кутикулы, эпидермы и гиподермы. Крупнодисперсные вещества забивают устьица и проникают в мезофилл прежде всего через устьица и разрыхленный слой кутикулы, а также между клетками эпидермы и гиподермы [10]. Анализ анатомических признаков хвои деревьев, подверженных выпадениям твердых аэрозолей, в том числе сажи, выявил, что в условиях техногенного стресса наблюдаются изменения структурных элементов листового аппарата. Так, у представителей хвойных пород в пределах г. Горно-Алтайска уменьшалась площадь смоляных каналов [11]. Отмечено снижение активности ферментов березы повислой, клена ясенелистного, тополя черного и яблони ягодной в ряде станций Западной Сибири [7].

Рассмотренные эффекты характерны для импактного уровня загрязнения, наблюдаемого в локальных масштабах непосредственно в зонах влияния источников выбросов химических агентов. В то же время исследования воздействия ЧУ на фитоценозы на фоновых — региональном или глобальном — уровнях не проводились. Как известно, концентрация и выпадения химических веществ, поступающих с дальним и трансграничным переносом на изучаемые территории, характеризуются малыми величинами. Однако последствия для живых организмов возможны и вследствие низкоуровневых (хронических) воздействий [12]. Ни отечественные, ни зарубежные исследователи до настоящего времени не уделяли внимания оценке хронического воздействия низких концентраций ЧУ на фитоценозы, равно как и значению его как климатического фактора для растительности.

В отличие от черного углерода роль осадков и температур в изменении состояния древостоев изучена более подробно. В частности, отмечена прямая зависимость развития и продуктивности растительных сообществ (в особенности бореальных экосистем) от климатических факторов [13–16]. Решению проблемы выявления тенденций и прогнозирования состояния бореальных лесных биогеоценозов при изменении климатической системы Земли посвящены отечественные и зарубежные работы [17–19].

Проведенные нами исследования показали, что в большинстве случаев приросты в высоту сосны обыкновенной в значительной степени зависят от межгодовых вариаций температуры и осадков. При этом наиболее тесные зависимости приростов и их вариабельности отмечены для популяций, произрастающих в местообитаниях, расположенных на краях экологической ниши данной породы, и характерны для сумм осадков текущего и предыдущего вегетационных сезонов [13–15, 18–21].

Цель работы

Цель работы — оценка отклика древостоев сосны обыкновенной на удельное осаждение выбросов черного углерода на фоновом уровне, а также на воздействие суммарных осадков и температуры предыдущего и текущего вегетационных сезонов.

Регион исследований. Измерения проводились в 2004 г. на территории ФГБУ «Государственный природный заповедник «Кивач» (62°15′–62°22′ с. ш., 33°47′–34°03′ в. д.) (далее — заповедник «Кивач»). Согласно климатическому районированию Б.П. Алисова, рассматриваемая территория входит в Атлантико-Арктическую область умеренного пояса [22].

Флора заповедника «Кивач» имеет таежный облик с элементами бореального, гипоарктического, неморального и арктоальпийского флористических комплексов. В урочищах сельгового комплекса с максимальными высотами до 200 м н. у. м., на выходах коренных пород доминирует сосна обыкновенная. Вниз по склону, по мере увеличения мощности почвенного слоя сосняки лишайниковые сменяются зеленомошными брусничными, затем разнотравно-черничными зеленомошными, а у подножия склонов — сложными сосняками с участием ели и с сибирскими и неморальными элементами. В лощинах и понижениях рельефа формируются сфагновые сосняки. Болота занимают около 7 % территории, большинство из них — олиготрофные и эвтрофно-мезотрофные. На верховых болотах преобладают сфагновые, багульниковые и багульничково-кассандровые сосняки с карликовой березой.

Согласно Л.С. Бергу [23], средообразующими факторами в бореальных биогеоценозах наряду с гумидным климатом являются микро- и мезорельеф местности, которыми обусловлены мозаичность местообитаний и многообразие условий произрастания. В соответствии с классической типологией В.Н. Сукачева [24], в бореальных экосистемах выделены три основных типа местообитаний (биотопов): 1) влажные биотопы — сосняки сфагновые (*Pineta sylvestris fruticuloso-sphagnosa*); 2) свежие биотопы — сосняки зеленомошные с примесью ели европейской, березы повислой, рябины обыкновенной (*Pineta fruticuloso-hylocomiosa*); 3) сухие биотопы — сосняки лишайниковые.

Материалы и методы

Согласно проведенным ранее исследованиям климатический сигнал в рядах линейных приростов сосны *P. sylvestris* зависит от типа местообитания [15, 20, 21]. В настоящей работе отклики линейных приростов на воздействие климатических факторов также рассматривались отдельно для каждого типа биотопа: свежего, влажного и сухого [15, 18, 21].

Для оценки эффектов черного углерода и климатических параметров на древостой сосны были использованы результаты измерений линейных приростов (т. е. годовых приростов междуузлий) подроста, молодняка и приспевающих деревьев сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L., 1753 (класс *Pinopsida*, порядок *Pinales*, семейство *Pinaceae*).

Измерения линейных приростов проводились в 2004 г. по методике, представленной в работах [14, 18, 19]. Деревья указанных возрастных классов в рассматриваемых бореальных фитоценозах не превышают 2 м в высоту. Пробные площади, каждая радиусом по 10 м, были заложены маршрутным методом в свежих (13 пробных площадей), сухих (3 пробных площади) и влажных (9 пробных площадей) местообитаниях (всего 25 пробных площадей). На каждой пробной площади случайным образом отбирали и измеряли по пять деревьев одного класса возраста без видимых повреждений. Было измерено 125 деревьев. У выбранных экземпляров определяли размеры междуузлия стволика/ствола начиная с верхнего и до последнего четко различимого над корневой шейкой. В результате этих измерений получен архив за период с 1974 по 2004 гг.

Ряды линейных приростов индексировались, т. е. из них удалялась возрастная компонента, для чего значение линейного прироста за каждый год делилось на значение точечной аппроксимирующей функции за текущий год. Следствием такой процедуры служили динамические ряды

индексов приростов, для которых становилось возможным проведение сравнения биометрических показателей деревьев разного возраста на воздействие факторов внешней среды [14, 18, 19]. Для анализа изменчивости индексов прироста и их связи с метеофакторами проводилось усреднение индексов по всем деревьям площадок указанного биотопа за каждый год.

Метеоданные, используемые в настоящей работе, получены с сайта ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» (<http://meteo.ru/data/158-total-precipitation>) на метеорологической станции Петрозаводск (синоптический номер: 22820). Длина рядов метеоданных соответствует длине наблюдений за линейным приростом (общий период для серий после проведения процедуры индексации составляет 27 лет — с 1976 по 2002 гг.). Для исследования связи прироста со средними значениями температуры, суммарными осадками и выбросами ЧУ выбирали периоды с апреля по сентябрь предшествующего вегетационного сезона и с апреля по май текущего. Первый период соответствует фазе развития почки возобновления, второй — фазе роста междуузлий. Как указано выше, более ранними исследованиями выявлено, что характер отклика линейного прироста сосны *P. sylvestris* на воздействие климатических факторов зависит от типа местообитания [15, 20, 21]. В настоящей работе воздействие климатических факторов на индексы линейных приростов также рассматривались отдельно для каждого типа биотопа: свежего, влажного и сухого.

Для получения оценок выбросов ЧУ за период 1980–2002 гг. воспользовались международной базой данных о выбросах, составленной группой экспертов для экспериментов проекта взаимного сравнения глобальных климатических моделей CMIP6: CEDS (CEDS — A Community Emissions Data System — A Community Emissions Data System), модель input4MIPs.CMIP6.CMIP.PNNL-JGCRI.CEDS-2017-05-18 и модель VUA-CMIP-BB4CMIP6-1-2. Российская база данных оценки выбросов, собранная для разработки Национального кадастра антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом [25], ведется ФГБУ «ИГКЭ» лишь с 1990 г. База данных CEDS для получения сводных оценок ежегодных выбросов аккумулирует существующие кадастры выбросов, коэффициенты выбросов и данные о деятельности по стране, сектору и типу выброса [26]. Данные базы CEDS не включают открытое сжигание, например, лесные и пастбищные пожары, а также сжигание сельскохозяйственных отходов на полях, данные об обороте парка транспортных средств и ухудшении контроля выбросов или технологии сжигания

нескольких видов топлива, которые включены в более подробные реестры [27].

Для оценки выбросов от открытого сжигания биомассы (леса, пастбища, сжигание сельскохозяйственных отходов на полях, торфяники) использовались данные модели VUA-CMIP-BB4CMIP6-1-2 (CEDS — A Community Emissions Data System) [28]. Данные по выбросам ЧУ в рассматриваемых базах представлены файлами формата NetCDF (Network Common Data Form) и находятся в свободном доступе. Данные привязаны к географической сетке, в узлах которой задана средняя интенсивность выброса ЧУ (кг/с м²): сетка 0,5°×0,5° для базы данных CEDS, сетка 0,25°×0,25° для выбросов от открытого сжигания биомассы модели VUA-CMIP-BB4CMIP6-1-2. Для работы с файлами такого типа использовалось программное обеспечение Panoply (version 5). Для расчета годовых показателей суммировались ежемесячные данные в каждой ячейке географической сетки с последующим усреднением по ячейкам, накрывающим территорию заповедника «Кивач». В итоге полученные значения приводились к удельным показателям осаждения за год (кг/м²).

Оценка связи между климатическими факторами и индексами линейных приростов междуузлий сосны проводилась с использованием коэффициента корреляции Пирсона (r) с оценкой значимости по критерию Стьюдента на уровне $\alpha = 0,1$. Для проведения корреляционно-регрессионного анализа временных рядов и статистического оценивания [29, 30] использовался программный модуль Statistica 15 и пакет Excel 2016.

Результаты и обсуждение

Первичный анализ осаждений выбросов ЧУ на территории заповедника «Кивач» по отдельным категориям источников (рабочие секторы с классификаций, представленной в международной базе CEDS представлены в документе: <https://gmd.copernicus.org/articles/11/369/2018/gmd-11-369-2018.pdf> (дата обращения 07.12.2022) показывает, что наибольший вклад имеют выбросы от сектора транспорт (рис. 1) [31]. В динамике осаждений ЧУ по территории заповедника «Кивач» за 1980–2002 гг. по категориям источников наблюдаются изменения к снижению (рис. 2). Для суммарного воздействия от всех категорий источников коэффициент детерминации линейной регрессии (показывающий долю обусловленной изменчивостью включенным фактором от общей вариации зависимой переменной) для временного ряда удельных годовых осаждений ЧУ значим и составляет $R^2 \approx 0,86$, тренд нисходящий (см. рис. 2). В ходе сбора данных по выбросам ЧУ выявлено, что его осаждения от пожаров (т.е. от

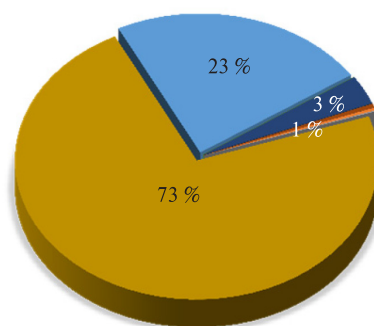


Рис. 1. Вклад отдельных категорий источников в суммарные оценки осаждения черного углерода за период 1980–2002 гг. по территории заповедника «Кивач»

Fig. 1. Contribution of individual source categories to total black carbon deposition estimates for the period 1980–2002 on the territory of the reserve «Kivach»

открытого сжигания биомассы) предпочтительно сосредоточены в центральной части заповедника. Вероятно, это связано с размещением центральной усадьбы и зоны частичного хозяйственного использования поблизости от центра ООПТ и доступности территории для рекреации, и, следовательно, с повышением уровня пожароопасности.

Для осуществления оценки вклада каждого климатического фактора в изменчивость (которая является показателем отклика и характеризует климатический сигнал) линейных приростов сосны обыкновенной необходимо исследовать эти факторы на независимость [29]. Черный углерод может оказывать воздействие по трем основным направлениям: прямое поглощение солнечной радиации, загрязнение облаков и изменение количества осадков в регионах, где облака загрязнены. При этом ЧУ имеет непродолжительное время пребывания в атмосфере (от недель до месяцев). Поэтому прежде чем независимо оценивать воздействие каждого фактора на приросты сосны, важно изучить наличие связи (мультиколлинеарность (multicollinearity) — наличие линейной зависимости между объясняющими переменными) удельных годовых осаждений выбросов ЧУ со средними значениями температуры воздуха и суммарными осадками текущего года (табл. 1). Для удельных осаждений выбросов ЧУ не получено значимых корреляций с температурами вегетационного периода текущего года. В то же время суммарные осадки и средние температуры июня — июля текущего года находятся в статистически значимой связи в период 1980–2002 гг. ($r = -0,43$). Известно, что средние сезонные температуры воздуха и осадки коррелируют слабо,

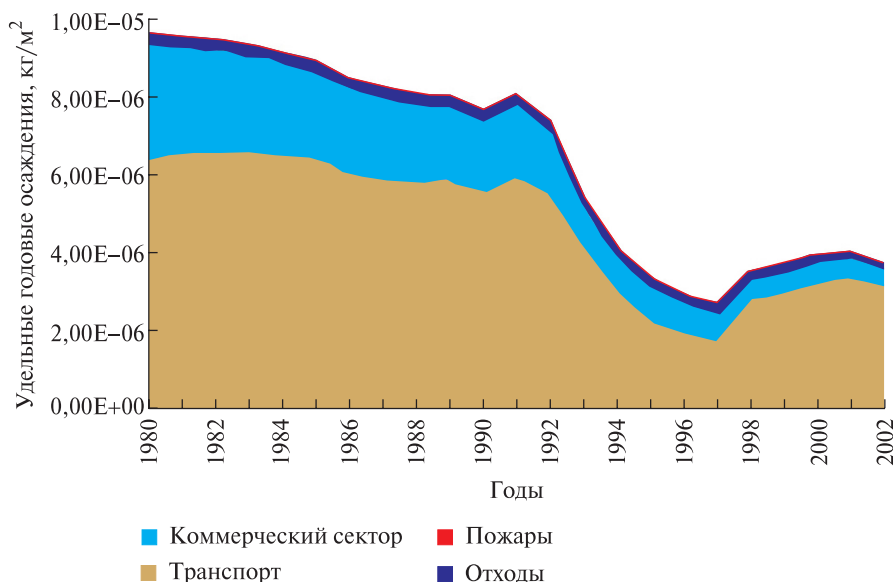


Рис. 2. Годовые оценки осаждения выбросов черного углерода за период 1980–2002 гг. по территории заповедника «Кивач» по отдельным категориям источников
Fig. 2. Annual black carbon deposition estimates for the period 1980–2002 on the territory of the reserve «Kivach» for certain categories of sources

Т а б л и ц а 1

Корреляции между климатическими факторами: суммарные осадки и средние температуры прошлого и текущего года и удельными осаждениями выбросов черного углерода по территории заповедника «Кивач» за 1980–2002 гг.

Correlations between climatic factors: total precipitation and average temperatures of the past and current year and specific precipitation of BC emissions on the territory of the «Kivach» reserve for 1980–2002

Коэффициенты корреляции с суммарными осадками	Коэффициенты корреляции со средними температурами		
	Июнь — июль текущего года	Апрель — сентябрь прошлого года	Июнь — сентябрь прошлого года и апрель — май текущего года
Июнь — июль текущего года	-0,43	0,12	0,14
Апрель — сентябрь прошлого года	0,14	-0,06	-0,19
Июнь — сентябрь прошлого года и апрель — май текущего года	0,05	0,01	-0,20

Примечание. Полу жирным в таблице отмечены значимые коэффициенты корреляции.

так как вегетационные сезоны по режиму температуры и осадков очень сильно различаются между собой. Поэтому эта корреляция, скорее всего, обусловлена случайными факторами.

Согласно проведенным расчетам, коэффициент корреляции за июнь — июль текущего года между удельными осаждениями выбросов ЧУ и суммарными осадками составил $-0,05$; между удельными осаждениями выбросов ЧУ и средними температурами был равен $-0,05$.

Дополнительно выявлено, что средние температуры воздуха по территории заповедника «Кивач» обнаруживают за период 1980–2002 гг. статистически значимый восходящий тренд ($R^2 \approx 0,65$), в отличие от суммарных годовых осадков ($R^2 \approx 0,01$). Наиболее вероятно, это связано с общей тенденци-

ей глобального потепления вследствие выбросов парниковых газов, оказывающих пролонгированное воздействие на климат. Данную тенденцию важно будет учесть при интерпретации связи средних температур с индексами линейных приростов во времени, так как отсутствие значимой пространственной корреляции между ними еще не означает отсутствия их временной синхронности [15, 20]. Также можно выдвинуть гипотезу, о том, что на фоновом уровне значимая связь осаджений ЧУ и сумм осадков не обнаруживается.

Проведенный анализ взаимозависимости климатических факторов дает возможность особенно анализировать воздействие суммарных осадков и средних температур на приросты сосны в различные вегетационные периоды, кроме периода

Корреляционная таблица кумулятивных связей климатических факторов (средних температур и суммарных осадков) и индексов приростов *P. sylvestris* в разных типах местообитаний по территории заповедника «Кивач» за 1980–2022 гг.

Correlation table of cumulative relationships of climatic factors (average temperatures and total precipitation) and increment indices of *P. sylvestris* in different types of habitats on the territory of the «Kivach» reserve for 1980–2022

Климатический параметр	Период	Тип биотопа		
		Свежий	Сухой	Влажный
Средние значения температуры	Июнь — июль текущего года	0,10	–0,02	–0,45
	Апрель — сентябрь прошлого года	0,10	–0,15	0,41
	Июнь — сентябрь прошлого и апрель — май текущего года	0,03	–0,05	0,32
Суммарные осадки	Июнь — июль текущего года	0,07	–0,15	0,32
	Апрель — сентябрь прошлого года	0,17	0,43	–0,16
	Июнь — сентябрь прошлого и апрель — май текущего года	0,14	0,49	–0,09

Примечание. Полу жирным в таблице отмечены значимые коэффициенты корреляции.

июнь — июль текущего года (ввиду значимой связи между этими факторами), а также независимо оценить связь индексов линейных приростов с осадками ЧУ (табл. 2).

Коэффициенты корреляции между годовыми удельными осадками выбросов ЧУ и индексами линейных приростов *P. sylvestris* по территории заповедника «Кивач» за 1980–2022 гг. были равны в свежих биотопах –0,14, в сухих биотопах 0,15, во влажных биотопах –0,04.

Представленные результаты корреляционного анализа значений удельных осадками выбросов ЧУ и индексов линейных приростов сосны показывают отсутствие статистически значимых связей данных показателей во всех типах местообитаний. Проведенные ранее на сети стационаров Международной совместной программы комплексного мониторинга влияния загрязнения воздуха на экосистемы (МСП КМ) под эгидой Конвенции по трансграничному переносу загрязнений на большие расстояния Экономической комиссии ООН для Европы (<http://www.igce.ru/performance/international/icp-im/>) исследования показали, что поступающие в фоновые районы с атмосферным переносом химические соединения характеризуются малыми концентрациями. Места размещения указанных стационаров, находящихся в пределах ООПТ, являются фоновыми и служат эталоном ненарушенных лесных экосистем. Химические вещества, поступающие с трансграничным переносом на изучаемую нами территорию в малых количествах, не оказывают значимого негативного воздействия на экосистемы заповедника «Кивач» [32].

В то же время известно, что климатические факторы — температура воздуха и осадки оказывают существенное воздействие на рост и раз-

витие деревьев, в частности на сосну *P. sylvestris*, что отражено в работах [13–17, 33, 34].

Анализ табл. 2 дает следующие результаты. Во влажных биотопах обнаруживаются статистически значимые связи со средними температурами в период апрель — сентябрь ($r = 0,41$) прошлого года и кумулятивный положительный эффект от средних температур периода июнь — сентябрь прошлого и апрель — май текущего года ($r = 0,32$).

Для наибольшего из полученных коэффициентов корреляции для влажных биотопов (–0,45), рассмотрим синхронность соответствующих переменных во времени (рис. 3). Оба ряда данных синхронны. Для установления статистической значимости их сонаправленности воспользуемся *G*-критерием знаков [30]. Основная гипотеза этого критерия касается случайного совпадения одинаковых направлений, а конкурирующая — не случайного. Согласно критерию, проводится расчет несовпадений промежутков синхронности признаков, поэтому чем меньше несовпадений в монотонности признаков, тем достовернее совпадение синхронности. Для нашего случая имеем незначимое число несовпадений, поэтому синхронность рядов признается неслучайной. Таким образом, во влажных биотопах не только связь, но и синхронность со средними температурами прошлогоднего вегетационного периода признаются статистически значимыми для территории заповедника «Кивач».

Обнаруженная синхронность динамики линейных приростов и температур предыдущего вегетационного сезона, совместно с полученным значимым положительным коэффициентом корреляции ($r = 0,41$) для периода апреля — сентября прошлого года (см. табл. 2), подтверждает

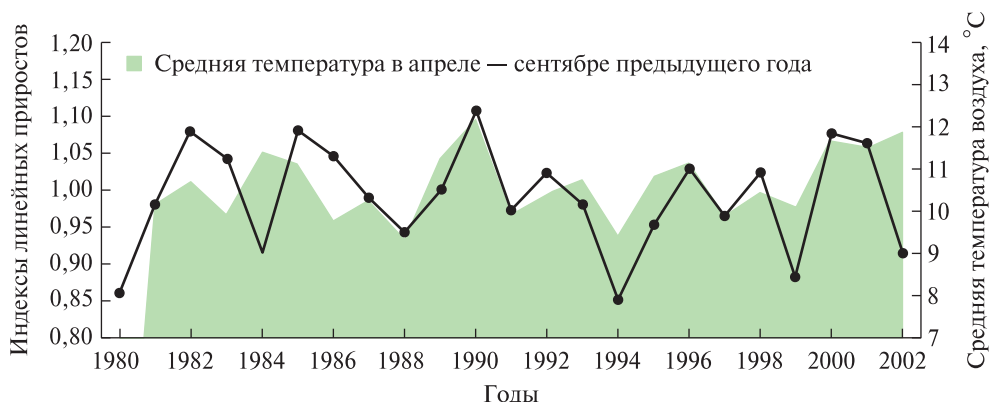


Рис. 3. Ход средней температуры (апрель — сентябрь предыдущего года, °C) и индексов линейных приростов влажных биотопов

Fig. 3. Average temperatures graph (April — September last year, °C) and linear increments indices of wet biotopes

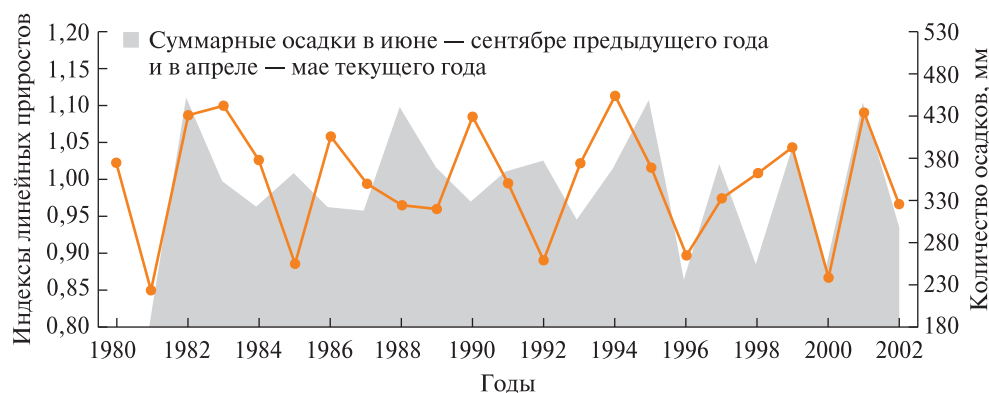


Рис. 4. Зависимость индексов линейных приростов от суммарных осадков (июнь — сентябрь предыдущего года и апрель — май текущего года, мм) в сухих биотопах

Fig. 4. Dependence of linear growth indices on total precipitation (June — September of the previous year and April-May of the current year, mm) in dry biotopes

лимитирующую роль температур на этапе формирования почек возобновления для сосняков в сфагновых биотопах, характеризующихся холодным субстратом.

Для текущего вегетационного сезона (июнь — июль) обнаруживается значимая положительная связь с суммарными осадками ($r = 0,32$) и отрицательная значимая связь со средними температурами ($r = -0,45$). Полученный результат не подлежит интерпретации ввиду наличия линейной связи между осадками и температурами (см. табл. 1). Использование в таком случае коэффициента корреляции дает вводящие в заблуждение результаты. Для оценки независимого вклада каждого климатического фактора рассчитываются частные коэффициенты корреляции. За счет расчета частного коэффициента корреляции становится возможным избежать ложных выводов, так как такой коэффициент корреляции оценивает связь между двумя факторами при фиксировании третьего [29]. Для влажных биотопов в период июнь — июль текущего года получены статисти-

чески незначимые частные коэффициенты корреляции: с осадками и со средними температурами. Таким образом, очевидно, что во влажных биотопах в течение фенофазы формирования линейного прироста ни запас влаги, ни температуры не являются лимитирующими факторами.

В сухих биотопах обнаруживаются статистически значимые связи с суммарными осадками в период апрель — сентябрь ($r = 0,43$) предыдущего года и кумулятивный эффект от суммарных осадков периода июнь — сентябрь предыдущего года и апрель — май текущего года ($r = 0,49$). Для наибольшего из полученных (см. табл. 2) коэффициентов корреляции для сухих биотопов рассмотрим синхронность соответствующих переменных во времени (рис. 4). Визуальный анализ рис. 4 показывает синхронность кумулятивных осадков двух вегетационных сезонов и индексов линейных приростов. Аналогично проведенному анализу по влажному биотопу для G -критерия знаков в сухих биотопах получаем результаты по числу несовпадений. Следовательно, в этом случае

синхронность рядов признается случайной [30]. Таким образом, в сухих биотопах заповедника «Кивач» только связь кумулятивных осадков двух вегетационных сезонов с индексами линейных приростов сосны признается статистически значимой в отличие от синхронности.

Аналогично анализу связей для влажных биотопов периода июнь — июль текущего года для сухих биотопов получены статистически незначимые частные коэффициенты корреляции: с осадками и со средними температурами. Вероятно, это связано с тем, что при прохождении фенофазы роста междуузлий в данном типе местообитаний сосняки заповедника «Кивач» не испытывают недостатка влаги и тепла. При этом на этапе формирования почек возобновления в предыдущем вегетационном сезоне осадки представляют собой лимитирующий фактор, ограничивающий развитие приростов деревьев. Указанная закономерность подтверждает результаты, полученные нами ранее [13, 14, 18–20].

Для *свежих биотопов* не получены статистически значимые корреляции ни со средними температурами, ни с суммарными осадками текущего и прошлого вегетационных периодов.

Отсутствие значимых зависимостей параметров роста древостоев сосны в свежих биотопах подтверждают ранее полученные результаты, где этот факт объясняется характером данного типа местообитания, представляющим собой зону оптимума для этой породы, и отсутствием лимитирования по признакам влагообеспеченности и достаточности тепла на всех стадиях развития деревьев [13, 14, 18–20].

Выводы

В результате анализа многолетних рядов линейных приростов сосны обыкновенной Государственного природного заповедника «Кивач» выявлен значимый отклик на суммы осадков и средние температуры текущего и предыдущего вегетационных сезонов.

В *сухих биотопах* обнаружена значимая положительная связь линейных приростов сосны с суммарными осадками предыдущего вегетационного сезона, дефицит которых лимитирует развитие почек возобновления и, как следствие, рост междуузлий в текущем году.

Отмечена положительная значимая корреляция линейных приростов от осадков предыдущего вегетационного сезона во *влажных биотопах*, также объясняемая лимитирующей ролью влаги в процессе развития почек возобновления. Не только связь, но и синхронность со средними температурами предыдущего вегетационного сезона признается статистически значимой для территории заповедника «Кивач». Для влажных

биотопов получен значимый положительный кумулятивный эффект температур при прохождении фенофазы формирования почки возобновления в предыдущем вегетационном сезоне и роста междуузлий в текущем сезоне.

Для *свежих биотопов* значимых корреляций не обнаружено, поскольку этот тип местообитания представляет собой зону оптимума для сосны обыкновенной в данном биоме и действие лимитирующих факторов обнаружить не удалось.

Получены незначимые отклики приростов сосны на хроническое воздействие низких концентраций черного углерода, характерных для заповедника «Кивач». Полученный результат согласуется с уже имеющимися результатами исследований реакции природных экосистем фоновых районов на различные загрязнители, поступающие в природные экосистемы вследствие регионального или глобального переноса. Подчеркнем, что установленные закономерности характерны для территории, исключенной из хозяйственной деятельности и представляющей собой эталон мало затронутых ею биогеоценозов. В подобные геосистемы загрязняющие вещества поступают, по большей части, вследствие регионального или глобального переноса. Очевидно, на импактном уровне, т. е. вблизи источников выбросов, отклики растительности на осаднения черного углерода (который может рассматриваться и как климатический, и как токсический агент) могут оказаться абсолютно иными. Следовательно, необходимо проводить дополнительные исследования, объектом которых в дальнейшем должны стать сосняки урбанизированных территорий.

Исследование выполнено в рамках научной темы Росгидромета (ФГБУ «ИГКЭ») АААА-А20-120021090098-8 «Развитие методов и технологий расчетного мониторинга антропогенных выбросов и абсорбции поглотителями парниковых газов и короткоживущих климатически активных веществ»; НИОКТР АААА-А20-120013190049-4 «Развитие методов и технологий мониторинга загрязнения природной среды вследствие трансграничного переноса загрязняющих веществ (ЕЭК ООН: ЕМЕП, МСП КМ) и кислотных выпадений в Восточной Азии (ЕАНЕТ)».

Список литературы

- [1] Махнева С.Г., Меншиков С.Л. Качество пыльцы сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в зоне действия выбросов АО «Карабашмедь» // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 1. С. 32–44. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-1-32-44
- [2] Ярмишко В.Т., Игнатъева О.В., Евдокимов А.С. Некоторые аспекты мониторинга сосновых лесов в экстремальных условиях Кольского Севера // Самарский научный вестник, 2019. № 8(2). С. 81–86.

- [3] Bachmann J. «BLACK CARBON: A Science/Policy Primer» // Vision air consulting, LLC. PEW Center on Global Climate Change. December, 2009, 47 p.
- [4] Interactive comment on «Quantifying immediate radiative forcing by black carbon and organic matter with the Specific Forcing Pulse» by T.C. Bond et al. // Atmos. Chem. Phys. Discuss., 2010, v. 10, pp. 5378–5382.
- [5] Кароль И.И. Климатические аспекты черного углерода // Изменение климата. Информационный бюл. Росгидромета № 40 (февраль–март 2013 г.). URL: <https://www.meteorf.gov.ru/press/news/1372/> (дата обращения 22.12.2022).
- [6] Громцев А.Н., Левина М.С., Преснухин Ю.В. Лесные пожары в Карелии: современная ситуация на фоне естественных режимов в различных географических ландшафтах // Труды КарНЦ РАН, 2021. № 12. С. 36–45.
- [7] Еремеева В.Г., Денисова Е.С. Газоустойчивость древесных растений Западной Сибири // Сибирский экологический журнал, 2011. № 2. С. 263–271.
- [8] Денисова Е.С. Аккумуляция некоторыми сельскохозяйственными растениями техногенной пыли сажевых заводов // Омский научный вестник, 2014. № 2 (134). С. 196–199.
- [9] Лазарева Э.А., Портнов А.Н., Маркелов В.Л., Халилов Г.Х., Черенщиков А.Г. Влияние выбросов промышленности и автотранспорта на растительный покров // Современные наукоемкие технологии, 2005. № 10. С. 97–98.
- [10] Папина О.Н., Собчак Р.О., Астафурова Т.П. Влияние урбанизированной среды на покровные ткани и содержание воды в хвое видов семейства Pinaceae Lindl // Вестник Томского ГТУ. Биология, 2013. № 3 (23). С. 152–161.
- [11] Зотикова А.П., Бендер О.Г., Собчак Р.О., Астафурова Т.П. Сравнительная оценка структурно-функциональной организации листового аппарата хвойных растений на территории г. Горно-Алтайска // Вестник Томского ГТУ, 2007. № 299. С. 152–161.
- [12] Неверова О.А. Применение фитоиндикации в оценке загрязнения окружающей среды // Биосфера, 2009. № 1. С. 82–92.
- [13] Кузнецова В.В., Чернокульский А.В., Козлов Ф.А., Кухта А.Е. Связь линейного и радиального прироста сосны обыкновенной с осадками разного генезиса в лесах Керженского заповедника // Известия РАН. Серия географическая, 2020. № 1. С. 93–102. DOI: 10.31857/S2587556620010124
- [14] Кухта А.Е., Попова Е.Н. Климатический сигнал в линейном приросте сосны обыкновенной бореальных фитоценозов побережья Белого моря // Экологический мониторинг и моделирование экосистем, 2020. Т. 31. № 3–4. С. 33–45. DOI: 10.21513/0207-2564-2020-3-33-45
- [15] Максимова О.В., Кухта А.Е. Вариабельность линейных и радиальных приростов сосны обыкновенной побережья Белого моря в зависимости от условий произрастания // Экологический мониторинг и моделирование экосистем, 2022. Т. 34. № 1–2. С. 20–36. DOI: 10.21513/0207-2564-2022-3-4-20-36
- [16] Bradley R.S. Paleoclimatology. Reconstructing climates of the Quaternary. UK: Elsevier, 2015. 667 p.
- [17] Тишков А.А., Кренке-мл. А.Н. «Позеленение» Арктики в XXI веке как эффект синергизма действия глобального потепления и хозяйственного освоения // Арктика: экология и экономика, 2015. № 4. С. 28–38.
- [18] Chernogaeva G.M., Kuhlta A.E. The Response of Boreal Forest Stands to Recent Climate Change in the North of the European Part of Russia // Russ. Meteorol. Hydrol., 2018, 43(6), pp. 418–424. DOI: 10.3103/S1068373918060109
- [19] Максимова О.В., Кухта А.Е., Сулова С.Б. О стабилизации изменчивости приростов сосны обыкновенной в разных географических условиях Европейской территории России // Проблемы региональной экологии, 2023. № 1. С. 17–27
- [20] Максимова О.В., Кухта А.Е. Оценка изменения линейных приростов сосны обыкновенной Печоро-Ильчского заповедника на основе климатического прогноза температуры приземного воздуха в российской Арктике // Арктика: экология и экономика, 2022. Т. 12. № 1. С. 77–86. DOI: 10.25283/2223-4594-2022-1-77-86
- [21] Koukhta A.E., Maksimova O.V. Effects of growing season climatic factors on Scots pine increment for the middle Volga region and the white sea coast // Russian Meteorology and Hydrology, 2022, v. 47, no. 1, pp. 50–58.
- [22] Алисов Б.П. Климат СССР. М.: Изд-во Московского ун-та., 1956. 128 с.
- [23] Берг Л.С. Климат и жизнь. М.: Госиздат, 1922. 157 с.
- [24] Сукачев В.Н. Избранные труды в трех томах. Т. 1: Основы лесной типологии и биогеоценологии / под ред. Е.М. Лавренко. Л.: Наука, 1972. 419 с.
- [25] Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглопителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом за 1990–2020 гг. М.: Изд-во ФГБУ «ИГКЭ», 2022. С. 58–61.
- [26] Hoesly R., Smith S., Feng L., Klimont Z., Janssens-Maenhout G., Pitkanen T., Seibert J.J., et al. Historical Emissions (1750 – 2014) – CEDS – v2017-05-18. System Grid Federation, 2017. DOI: 10.22033/ESGF/INPUT4MIPS.1241
- [27] Гинзбург В.А., Зеленова М.С., Коротков В.Н., Кудрявцева Л.В., Лытов В.М., Максимова О.В., Попов Н.В. Расчетные оценки выбросов черного углерода от приоритетных категорий источников в России // Метеорология и гидрология, 2022. № 10. С. 78–91. DOI: 10.52002/0130-2906-2022-10-78-91
- [28] Van M., Margreet J.E., Kloster S., Magi B.I., Marlon J.R., Daniu A.-L., Field R.D., et al. Biomass Burning emissions for CMIP6 (vol. 1.2) // Earth System Grid Federation, 2016. DOI: 10.22033/ESGF/input4MIPS.1117
- [29] Айвазян С.А., Мхитарян В.С. Прикладная статистика. Основы эконометрики. Т. 1: Теория вероятностей и прикладная статистика. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001. 656 с.
- [30] Сидоренко Е.В. Методы математической обработки в психологии. СПб.: Речь, 2000. 349 с.
- [31] Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2022622573 Российская Федерация. Выбросы черного углерода по регионам Арктической зоны РФ в 2013 г.: № 2022622353; заявл. 29.09.2022; опубл. 19.10.2022 / О.В. Максимова, М.С. Зеленова, Л.В. Кудрявцева, В.М. Лытов; заявитель Федеральное государственное бюджетное учреждение «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля».
- [32] Кухта А.Е., Пчелкин А.В., Полещук А.М. Оценка отклика древостоев сосны и ели Центрально-Лесного государственного природного заповедника на трансграничное загрязнение воздуха методами Международной совместной программы комплексного мониторинга // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем, 2018. Т. 29. № 4. С. 29–37. DOI: 10.21513/0207-2564-2018-4-29-43
- [33] Долгова Е.А., Мацковский В.В., Соломина О.Н. Дендрохронология Соловецких островов // География: развитие науки и образования, 2018. Т. 1. С. 394–398.
- [34] Dolgova E., Cherenkova E., Solomina O., Matskovsky V. Influence of the large-scale atmospheric circulation variations on spruce tree-ring growth from Solovki Islands (Russia) // Practical Geography and XXI Century Challenges, 2018, pp. 78–78.

Сведения об авторах

Максимова Ольга Владимировна — канд. техн. наук, вед. науч. сотр., ФГБУ «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля»; доцент, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет МИСИС (НИТУ «МИСИС»), o-maximova@yandex.ru

Кухта Анна Евгеньевна — канд. биол. наук, вед. науч. сотр., ФГБУ «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля», anna_koukhata@mail.ru

Коротков Сергей Александрович — канд. биол. наук, доцент, МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), ФГБУН «Институт лесоведения Российской академии наук» (ИЛАН РАН), skorotkov@mgul.ac.ru

Поступила в редакцию 13.01.2023.

Одобрено после рецензирования 16.06.2023.

Принята к публикации 07.09.2023.

BLACK CARBON AND OTHER CLIMATIC FACTORS IMPACT ON SCOTS PINE (*PINUS SYLVESTRIS* L.) LINEAR INCREMENTS IN «KIVACH» RESERVE

O.V. Maksimova^{1,2}, A.E. Koukhata¹, S.A. Korotkov^{3,4}

¹Yu.A. Izrael Institute of Global Climate and Ecology, 20B, Glebovskaya str., 107058, Moscow, Russia

²University of Science and Technology MISIS, 4, Leninsky pr., Moscow, 119049, Russia

³BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

⁴Institute of Forest Science RAS, 21, Sovetskaya st., village Uspenskoe, Odintsovo district, 143030, Moscow reg., Russia

anna_koukhata@mail.ru

The black carbon deposition effect on Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) increments in the background area, in the state nature reserve «Kivach» was studied. The responses to the cumulative precipitation and temperatures of the previous and current growing seasons impact for the same forest stands were revealed. Standard methods for linear increments measuring and analyzing were used. Insignificant responses of pine increments to the chronic impact of black carbon low concentrations, typical for territories excluded from economic activity, were obtained. For different growing conditions, the cumulative precipitation and average temperatures signals in the increment series were found and analyzed. The limiting role of precipitation in dry biotopes and temperatures in wet habitats for the Scots pine of the state nature reserve «Kivach» was revealed.

Keywords: Scots pine, linear growth, black carbon, temperature, precipitation

Suggested citation: Maksimova O.V., Koukhata A.E., Korotkov S.A. *Vozdeystvie chernogo ugleroda i drugih klimaticheskikh faktorov na lineynye prirosty sosny obyknovennoy (Pinus sylvestris L.) na territorii zapovednika «Kivach»* [Black carbon and other climatic factors impact on Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) linear increments in «Kivach» reserve]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2023, vol. 27, no. 5, pp. 48–59.

DOI: 10.18698/2542-1468-2023-5-48-59

References

- [1] Makhniova S.G., Menshchikov S.L. *Kachestvo pyl'tsy sosny obyknovennoy (Pinus sylvestris L.) v zone deystviya vybrosov AO «Karabashmed'»* [Common pine (*Pinus sylvestris* L.) pollen quality in JSC «Karabashmed» emission zone]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 1, pp. 32–44. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-1-32-44
- [2] Yarmishko V.T., Ignat'eva O.V., Evdokimov A.S. *Nekotorye aspekty monitoringa sosnovykh lesov v ekstremal'nykh usloviyakh Kol'skogo Severa* [Some aspects of pine forests monitoring in extreme conditions of the Kola North], *SNV [Samara Scientific Bulletin]*, 2019, v. (27), pp. 81–86.
- [3] Bachmann J. «BLACK CARBON: A Science/Policy Primer» // Vision air consulting, LLC. PEW Center on Global Climate Change. December, 2009, 47 p.
- [4] Interactive comment on «Quantifying immediate radiative forcing by black carbon and organic matter with the Specific Forcing Pulse» by T.C. Bond et al. *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, 2010, v. 10, pp. 5378–5382.
- [5] Karol' I.L. *Klimaticheskie aspekty chernogo ugleroda* [Climatic aspects of black carbon]. *Izmenenie klimata. Informatsionnyy byulleten' Rosgidrometa № 40 (fevral' – mart 2013 g.)* [Climate change. Roshydromet Newsletter No. 40 (February – March 2013)]. Available at: <https://www.meteorf.gov.ru/press/news/1372/> (accessed 22.12.2022).
- [6] Gromtsev A.N., Levina M.S., Presnukhin Yu.V. *Lesnye pozhary v Karelii: sovremennaya situatsiya na fone estestvennykh rezhimov v razlichnykh geograficheskikh landshaftakh* [Forest fires in Karelia: current situation against the background of natural regimes in various geographical landscapes]. *Trudy KarNTs RAN [Transactions of KarRC RAS]*, 2021, no. 12, pp. 36–45.

- [7] Eremeeva V.G., Denisova E.S. *Gazoustoychivost' drevesnykh rasteniy Zapadnoy Sibiri* [Gas resistance of woody plants in Western Siberia]. *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal* [Siberian Ecological J.], 2011, no. 2, pp. 263–271.
- [8] Lazareva E.A., Portnov A.N., Markelov V.L., Khalilov G.Kh., Cherenshchikov A.G. *Vliyanie vybrosov promyshlennosti i avtotransporta na rastitel'nyy pokrov* [Accumulation of technogenic dust from soot plants by some agricultural plants]. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii* [ONV], 2014, no. 2 (134), pp. 196–199.
- [9] Lazareva E.A., Portnov A.N., Markelov V.L., Khalilov G.Kh., Cherenshchikov A.G. *Vliyanie vybrosov promyshlennosti i avtotransporta na rastitel'nyy pokrov* [Influence of emissions from industry and vehicles on the vegetation cover]. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii* [Modern science-intensive technologies], 2005, no. 10, pp. 97–98.
- [10] Papina O.N., Sobchak R.O., Astafurova T.P. *Vliyanie urbanizirovannoy sredy na pokrovnye tkani i sodержanie vody v khvoe vidov semeystva Pinaceae Lindl* [Influence of the urbanized environment on integumentary tissues and water content in the needles of species of the family Pinaceae Lindl]. *Vestnik Tomskogo GTU. Biologiya* [Bulletin of the Tomsk State Technical University. Biology], 2013, no. 3 (23), pp. 152–161.
- [11] Zotikova A.P., Bender O.G., Sobchak R.O., Astafurova T.P. *Sravnitel'naya otsenka strukturno-funktional'noy organizatsii listovogo apparata khvoynnykh rasteniy na territorii g. Gorno-Altayska* [Comparative assessment of the structural and functional organization of the leaf apparatus of coniferous plants on the territory of the city of Gorno-Altai]. *Vestnik Tomskogo GTU* [Bulletin of the Tomsk State Technical University], 2007, no. 299, pp. 152–161.
- [12] Neverova O.A. *Primenenie fitoindikatsii v otsenke zagryazneniya okruzhayushchey sredy* [The use of phytointication in assessing environmental pollution]. *Biosfera* [Biosfera], 2009, no. 1, pp. 82–92.
- [13] Kuznetsova V.V., Chernokul'skiy A.V., Kozlov F.A., Kukhta A.E. *Svyaz' lineynogo i radial'nogo prirosta sosny obyknovennoy s osadkami raznogo genezisa v lesakh Kerzhenskogo zapovednika* [Relationship between linear and radial growth of Scotch pine with sediments of different genesis in the forests of the Kerzhensky Reserve]. *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya* [Izvestiya RAN. Geographic Series], 2020, no. 1, pp. 93–102. DOI: 10.31857/S2587556620010124
- [14] Kukhta A.E., Popova E.N. *Klimaticheskii signal v lineynom priroste sosny obyknovennoy boreal'nykh fitotsenozov poberezh'ya Belogo morya* [Climate signal in the linear growth of Scotch pine in boreal phytocenoses of the White Sea coast]. *Ekologicheskiy monitoring i modelirovanie ekosistem* [Ecological monitoring and modeling of ecosystems], 2020, v. 31, no. 3–4, pp. 33–45. DOI: 10.21513/0207-2564-2020-3-33-45
- [15] Maksimova O.V., Kukhta A.E. *Variabel'nost' lineynykh i radial'nykh prirostov sosny obyknovennoy poberezh'ya Belogo morya v zavisimosti ot usloviy proizrastaniya* [Variability of linear and radial increments of Scots pine of the White Sea coast depending on growing conditions]. *Ekologicheskiy monitoring i modelirovanie ekosistem* [Ecological monitoring and modeling of ecosystems], 2022, v. 34, no. 1–2, pp. 20–36. DOI: 10.21513/0207-2564-2022-3-4-20-36
- [16] Bradley R.S. *Paleoclimatology. Reconstructing climates of the Quaternary*. UK: Elsevier, 2015. 667 p.
- [17] Tishkov A.A., Krenke-m. A.N. «*Pozeleneniye*» Arktiki v KhKhI veke kak effekt sinergizma deystviya global'nogo potepleniya i khozyaystvennogo osvoeniya [«Greening» the Arctic in the 21st century as a synergy effect of global warming and economic development]. *Arktika: ekologiya i ekonomika* [Arctic: Ecology and Economics], 2015, no. 4, pp. 28–38.
- [18] Chernogaeva G.M., Kuhta A.E. *The Response of Boreal Forest Stands to Recent Climate Change in the North of the European Part of Russia*. *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 2018, 43(6), pp. 418–424. DOI: 10.3103/S1068373918060109
- [19] Maksimova O.V., Kukhta A.E., Suslova S.B. *O stabilizatsii izmenchivosti prirostov sosny obyknovennoy v raznykh geograficheskikh usloviyakh Evropeyskoy territorii Rossii* [On Stabilization of Scotch Pine Increment Variability in Different Geographical Conditions of the European Territory of Russia]. *Problemy regional'noy ekologii* [Problems of Regional Ecology], 2023, no. 1, pp. 17–27.
- [20] Maksimova O.V., Kukhta A.E. *Otsenka izmeneniya lineynykh prirostov sosny obyknovennoy Pechoro-Ilychskogo zapovednika na osnove klimaticheskogo prognoza temperatury prizemnogo vozdukh v rossiyskoy Arktike* [Estimation of changes in linear increments of Scots pine in the Pechoro-Ilychsky Reserve based on the climatic forecast of surface air temperature in the Russian Arctic]. *Arktika: ekologiya i ekonomika* [Arktika: ekologiya i ekonomika], 2022, v. 12, no. 1, pp. 77–86. DOI: 10.25283/2223-4594-2022-1-77-86
- [21] Koukhta A.E., Maksimova O.V. *Effects of growing season climatic factors on Scots pine increment for the middle Volga region and the white sea coast* // *Russian Meteorology and Hydrology*, 2022, v. 47, no. 1, pp. 50–58.
- [22] Alisov B.P. *Klimat SSSR* [Climate of the USSR]. Moscow: Publishing House of Moscow University, 1956, 128 p.
- [23] Berg L.S. *Klimat i zhizn'* [Climate and life]. Moscow: Gosizdat, 1922, 157 p.
- [24] Sukachev V.N. *Izbrannye trudy v trekh tomakh. T. 1: Osnovy lesnoy tipologii i biogeotsenologii* [Selected works in three volumes, v. 1: Fundamentals of forest typology and biogeocenology]. Ed. E.M. Lavrenko. Leningrad: Nauka, 1972, 419 p.
- [25] *Natsional'nyy doklad o kadastre antropogennykh vybrosov iz istochnikov i absorbtzii poglotitelyami parnikovykh gazov, ne reguliruemyykh Monreal'skim protokolom za 1990–2020 gg.* [National report on the inventory of anthropogenic emissions by sources and removals by sinks of greenhouse gases not controlled by the Montreal Protocol for 1990–2020]. Moscow: IGKE, 2022, pp. 58–61.
- [26] Hoesly R., Smith S., Feng L., Klimont Z., Janssens-Maenhout G., Pitkanen T., Seibert J.J., et al. *Historical Emissions (1750–2014) – CEDS – v2017-05-18*. System Grid Federation, 2017. DOI: 10.22033/ESGF/INPUT4MIPS.1241
- [27] Ginzburg V.A., Zelenova M.S., Korotkov V.N., Kudryavtseva L.V., Lytov V.M., Maksimova O.V., Popov N.V. *Raschetnye otsenki vybrosov chernogo ugleroda ot prioritetykh kategoriy istochnikov v Rossii* [Estimated estimates of black carbon emissions from priority source categories in Russia]. *Meteorologiya i gidrologiya* [Meteorology and Hydrology], 2022, no. 10, pp. 78–91. DOI: 10.52002/0130-2906-2022-10-78-91
- [28] Van M., Margreet J.E., Kloster S., Magi B.I., Marlon J.R., Daniau A.-L., Field R.D., et al. *Biomass Burning emissions for CMIP6 (vol. 1.2)*. Earth System Grid Federation, 2016. DOI: 10.22033/ESGF/input4MIPs.1117
- [29] Ayvazyan S.A., Mkhitarjan V.S. *Prikladnaya statistika. Osnovy ekonometriki. T. 1: Teoriya veroyatnostey i prikladnaya statistika* [Applied statistics. Fundamentals of econometrics. v. 1: Probability Theory and Applied Statistics]. Moscow: UNITI-DANA, 2001, 656 p.
- [30] Sidorenko E.V. *Metody matematicheskoy obrabotki v psikhologii* [Methods of mathematical processing in psychology]. St. Petersburg: Rech, 2000, 349 p.

- [31] *Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii bazy dannykh № 2022622573 Rossiyskaya Federatsiya. Vybrosoy chernogo ugleroda po regionam Arkticheskoy zony RF v 2013 g.: № 2022622353: zayavl. 29.09.2022: opubl. 19.10.2022 / O.V. Maksimova, M.S. Zelenova, L.V. Kudryavtseva, V.M. Lytov; zayavitel' Federal'noe gosudarstvennoe byudzhethoe uchrezhdenie «Institut global'nogo klimata i ekologii imeni akademika Yu.A. Izraelya»* [Certificate of state registration of the database no. 2022622573 Russian Federation. Emissions of black carbon by regions of the Arctic zone of the Russian Federation in 2013: No. 2022622353: Appl. 09/29/2022: publ. October 19, 2022. O.V. Maksimova, M.S. Zelenova, L.V. Kudryavtseva, V.M. Lytov; applicant Federal State Budgetary Institution «Institute of Global Climate and Ecology named after Academician Yu.A. Israel»].
- [32] Kukhta A.E., Pchelkin A.V., Poleshchuk A.M. *Otsenka otklika drevostoev sosny i eli Tsentral'no-Lesnogo gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika na transgranichnoe zagryaznenie vozdukhа metodami Mezhdunarodnoy sovmestnoy programmy kompleksnogo monitoringa* [Evaluation of the response of pine and spruce stands of the central forest state natural reserve to transboundary air pollution using the methods of the international joint program of integrated monitoring]. *Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem* [Problems of ecological monitoring and modeling of ecosystems], 2018, v. 29, no. 4, pp. 29–37. DOI: 10.21513/0207-2564-2018-4-29-43
- [33] Dolgova E.A., Matskovskiy V.V., Solomina O.N. *Dendrokronologiya Solovetskikh ostrovov* [Dendrochronology of the Solovetsky Islands]. *Geografiya: razvitie nauki i obrazovaniya* [Geography: development of science and education], 2018, v. 1, pp. 394–398.
- [34] Dolgova E., Cherenkova E., Solomina O., Matskovsky V. Influence of the large-scale atmospheric circulation variations on spruce tree-ring growth from Solovki Islands (Russia). *Practical Geography and XXI Century Challenges*, 2018, pp. 78–78.

The study was carried out within the framework of the scientific theme of Roshydromet (FGBU «IGCE») AAA-A20-120021090098-8 «Development of methods and technologies for computational monitoring of anthropogenic emissions and absorption by sinks of greenhouse gases and short-lived climatically active substances»; NIOCTR AAA-A20-120013190049-4 «Development of methods and technologies for monitoring of environmental pollution due to transboundary pollutantion (UNECE: EMEP, SME CM) and acid deposition in East Asia (EANET)».

Authors' information

Maksimova Olga Vladimirovna — Cand. Sci. (Technical Sciences), Leading Researcher, Yu.A. Izrael Institute of Global Climate and Ecology; Associate Professor of the Department of Mathematics, University of Science and Technology MISIS, o-maximova@yandex.ru

Koukhta Anna Evgen'evna✉ — Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, Yu.A. Izrael Institute of Global Climate and Ecology, anna_koukhta@mail.ru

Korotkov Sergey Aleksandrovich — Cand. Sci. (Biology), Associate Professor of BMSTU (Mytishchi branch); Institute of Forest Science RAS, skorotkov@mgul.ac.ru

Received 13.01.2023.

Approved after review 16.06.2023.

Accepted for publication 07.09.2023.

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

О ЛЕСНЫХ ПОЖАРАХ В ЛЕСАХ ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ ЗА 2018–2021 ГОДЫ И АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ К ВОСПРОИЗВОДСТВУ ЛЕСОВ В ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННОМ РЕГЛАМЕНТЕ

А.Р. Сибиркина^{1✉}, С.Ф. Лихачев^{1,2}

¹ФГБОУ ВО «Челябинский государственный университет», Россия, 454001, Челябинская обл., г. Челябинск, ул. Братьев Кашириных, д. 129

²Министерство экологии Челябинской области, Россия, 454091, Челябинская обл., г. Челябинск, пр. Ленина, д. 57

sibirkina_alfira@mail.ru

Представлены результаты четырехлетнего исследования количества лесных пожаров на территории 22 лесничеств Челябинской области. Выявлено, что основной причиной пожаров является неосторожное обращение с огнем. Установлена некоторая зависимость количества и интенсивности пожаров от количества верховых пожаров и погодных условий. Определены элементы ущерба от лесных пожаров: потери древесины на корню, стоимость работ по тушению, расчистке и восстановлению сгоревшей местности, гибель животных. Выполненные выше расчеты показали значительное превышение затрат на тушение пожаров по сравнению с экономическим ущербом от пожаров. Указан также экологический ущерб от пожаров в виде потерь природных ресурсов, в частности ценных животных или редких растений, занесенных в Красную книгу Челябинской области или Российской Федерации, которые вследствие лесных пожаров, могут быть утрачены. Выявлено, что в каждом из 22 лесничеств Челябинской области в соответствии с приказом Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации № 188 от 25.03.2019 г. «Об утверждении Правил лесовосстановления, состава проекта лесовосстановления, порядка разработки проекта лесовосстановления и внесения в него изменений» разработаны лесохозяйственные регламенты лесовосстановления. Прописанные в Правилах мероприятия позволяют наиболее эффективно осуществлять лесовосстановление и лесоразведение, что показано на примере Красноармейского лесничества Челябинской области.

Ключевые слова: лесные пожары, Челябинская область, лесохозяйственный регламент

Ссылка для цитирования: Сибиркина А.Р., Лихачев С.Ф. О лесных пожарах в лесах Челябинской области за 2018–2021 годы и анализ требований к воспроизводству лесов в лесохозяйственном регламенте // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 5. С. 60–73. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-5-60-73

Трудно переоценить экологический вред, наносимый природным экосистемам, лесными пожарами. Пожар не только затрагивает все уровни леса, но и разрушает равновесие в биогеоценозе в целом. При таких неблагоприятных для лесного хозяйства погодных условиях, как низкая влажность воздуха, высокие значения температуры, наличие ветра многократно увеличивается легкость воспламенения крон деревьев и распространение огня на огромные расстояния за короткие промежутки времени. При пожаре почва быстро прогорает в глубину до нескольких сантиметров, что приводит к гибели почвенных организмов и отмиранию корней многих растений, а в дальнейшем и к ветровой эрозии и разрушению наиболее плодородного почвенного слоя [1]. Соответственно, для предотвращения негативного воздействия пожаров на экосистемы, необходимо развивать устойчивое управление лесами [2, 3], включающее в себя разработку механизмов эффективного предотвращения пожаров и послепожарового восстановления лесных массивов. На характер и

интенсивность пожаров влияет огромное количество факторов, которые могут возникать в ходе пожара и имеют случайный характер, что следует учитывать при их тушении [4] в целях снижения негативного воздействия на лесные насаждения и сохранения способности их к восстановлению естественным или искусственным способом. Для устойчивого развития лесного хозяйства важно не только устанавливать причины лесных возгораний и подсчитывать убытки от пожаров, но и правильно и вовремя проводить лесовосстановительные работы.

Для борьбы с пожарами в России созданы и эффективно работают федеральные системы мониторинга лесных пожаров, включая дистанционные методы как часть экологического мониторинга [5]. Актуальным является не только изучение причин возникновения лесных пожаров, но и разработка методов профилактики и борьбы с лесными пожарами, особенно с их негативными последствиями, а также грамотное послепожаровое лесовосстановление, направленное на устранение многообразных изменений, возникающих в лесу [6, 7].

Цель работы

Цель работы — разработка эффективных мер предотвращения пожаров, послепожарового лесовосстановления и лесоразведения, оценка интенсивности пожаров за пожароопасные периоды 2018–2021 гг., анализ требований к воспроизводству лесов в лесохозяйственном регламенте (на примере Красноармейского лесничества Челябинской области).

Материалы и методы

Аналитическая работа базировалась на оперативной информации по фактам возникновения пожаров в Челябинской области в пожароопасные периоды 2018–2021 гг. Анализ требований к воспроизводству лесов был проведен на основе лесохозяйственного регламента Красноармейского лесничества Челябинской области, утвержденного приказом Главного управления лесами Челябинской области от 26.08.2019 г. № 521 [8].

Краткая информация. Красноармейское лесничество Главного управления лесами Челябинской области (далее — Лесничество) организовано на базе Красноармейского лесхоза и расположено на территории Красноармейского административного района. Протяженность Лесничества с севера на юг — 100 км, с востока на запад — 50 км. Лесничество состоит из четырех участковых лесничеств — Бродокалмакского, Севастьяновского, Красноармейского, Сугоякского общей площадью 102 545 га. Распределение на участковые лесничества выполнено в соответствии с приказом Рослесхоза № 370 от 04.12.2008 г.

Средняя лесистость по Лесничеству составляет 22,3 %, его леса отнесены к защитным. На

основании распоряжения Челябинского облисполкома от 28.12.1976 г. № 1837-Р часть лесов была переведена в лесопарковые леса. Последующим Распоряжением Челябинского облисполкома от 06.02.1978 г. № 146-Р лесопарковая часть зеленой зоны была расширена. В соответствии со ст. 114 Лесного кодекса Российской Федерации к лесам, расположенным в лесопарковых зонах, относятся леса, находящиеся на землях лесного фонда и землях иных категорий, используемых в целях организации отдыха населения, сохранения санитарно-гигиенической, оздоровительной функций и эстетической ценности природных ландшафтов.

Лесные массивы Красноармейского лесхоза решением Челябинского облисполкома от 26.05.1959 г. № 286 вошли в состав утвержденной зеленой зоны г. Челябинска.

Распоряжением СНК СССР № 14587-р от 14.07.1944 г. и приказом Рослесхоза от 28.01.1994 г. № 22 выделены противозерозионные леса, предназначенные в соответствии со ст. 115 Лесного кодекса Российской Федерации для охраны земель от эрозии.

На основании распоряжения Совета Министров РСФСР от 03.04.1987 г. № 400-р, постановления Госкомлеса СССР от 21.08.1990 г. № 10 и постановления Госкомлеса СССР от 21.08.1990 г. на территории Лесничества выделены леса, имеющие согласно ст. 115 Лесного кодекса Российской Федерации, научное или историко-культурное значение.

Результаты и обсуждение

Лесные пожары в лесах Челябинской области за 2018–2021 гг. Научно-практический мониторинг лесов направлен на получение биоэкологической характеристики лесных насаждений

Т а б л и ц а 1

Количественные характеристики пожаров на территории Челябинской области за период 2018–2021 гг.

Quantitative characteristics of fires in the Chelyabinsk Region for the period 2018–2021

Характеристика	2018	2019	2020	2021	Соотношение, %		
					2018/2019	2019/2020	2020/2021
Общее количество, шт.	648	534	587	1086	-17,6	+9,03	+45,95
Общая площадь, га	24321,91	9672,56	7064,86	41410,36	-60,2	-36,91	+486,15
Площади лесной территории покрытой лесом, га	20888,45	6351,53	3300,74	24207,92	-69,6	-48,03	+633,41
Площади, не покрытой лесом, га	2562,39	3003,09	2328,56	12082,57	+17,2	-22,46	+418,89
Площади не лесной территории, га	871,01	317,94	1435,56	5119,87	-63,5	-351,52	+256,65
Верховые пожары, шт	2336,0	756,06	7,48	4722,46	-67,6	-99,01	+63034,49
Интенсивность пожара, га/1 пожар	37,5	18,1	12,0	38,1	-51,7	-33,7	+217,5

Примечание. Минус — уменьшение; плюс — увеличение.

и динамики их изменений под влиянием различных эндогенных и экзогенных факторов [9–11], в том числе лесных пожаров.

На территории 22 лесничеств Челябинской области за четыре года произошло 2624 пожара (табл. 1). Анализ показал, что в 2018 г. больше всего пожаров произошло в Шершневском лесничестве Сосновского муниципального района (151 пожар), в 2019 г. — в Чебаркульском лесничестве (86 пожаров), в 2020 г. — в Миасском лесничестве (120 пожаров), в 2021 г. — в Шершневском лесничестве Сосновского муниципального района (146 пожаров) (рис. 1, 2).

В то же время, как указывают авторы некоторых работ [12, 13], прямой зависимости между количеством лесных пожаров и пройденной огнем площади не существует. Умение работников лесничеств удерживать пожарную обстановку под контролем во многом зависит от множества объективных и субъективных факторов, в частности от скорости распространения пожара, доступности лесов, своевременной доставки людей и техники к месту пожара [13].

Выведенное нами соотношение между количеством пожаров и площадями, охваченными пожарами, подтверждает изложенный выше тезис. Так, в 2018 г. в Пластовском лесничестве произошло 28 пожаров на площади 6354,9 га; в 2019 г. в Брединском лесничестве — 34 пожара на площади 3892,3 га, в Красноармейском лесничестве пожаром была охвачена площадь в 1292,4 га в результате всего лишь четырех пожаров, в 2020 г. в Брединском лесничестве 27 пожаров охватили площадь 3805,18 га, в 2021 г. в Карталинском лесничестве в результате 69 пожаров охваченной огнем оказалась площадь 30 954,08 га (рис. 3, 4). Следовательно, более информативным показателем, позволяющим судить об интенсивности пожара, является не общая площадь, охваченная пожаром, а соотношение площади на один пожар. В результате несложных расчетов были выведены следующие убывающие ряды: Карталинское лесничество (2021 г.) > Красноармейское лесничество (2019 г.) > Пластовское лесничество (2018 г.) > Брединское лесничество (2020 г.) > Брединское лесничество (2019 г.).

По этой же схеме были рассчитаны показатели интенсивности пожаров по годам. Анализ пожароопасных периодов показал, что 2021 г. характеризуется более интенсивными пожарами, чем предыдущие годы: 2021 (38,13 га) > 2018 (37,5 га) > 2019 (18,1 га) > 2020 (12,04 га).

Для экологов и специалистов лесного хозяйства остро стоит вопрос о причинах возникновения пожаров, о наличии первичного источника воспламенения [14, 15], который может быть как природного, например удар молнии, фокусиру-

вание солнечной энергии каплями воды при росе, так и антропогенного, например поджог, происхождения. По многочисленным наблюдениям специалистов лесного хозяйства, от природных источников возникает не более 0,1...0,5 % всех пожаров. Большую тревогу вызывает так называемая антропогенная пожарная опасность, например огневая очистка местности, поджоги, случайные пожары или пожары по недосмотру. Антропогенный (или человеческий) фактор доминирует над всеми остальными, является наиболее непредсказуемым и не поддается численному расчету, поскольку часто носит случайный характер. В отличие от человеческого фактора, численному моделированию поддается и достаточно хорошо изучен фактор развития уже возникшего пожара и распространение его на большие площади из-за большого количества горючей загрузки в лесу. К многофункциональным факторам, влияющим на интенсивность пожара — относятся скорость распространения кромки пожара, фактор, зависящий от количества горючей загрузки, погодных условий, в частности ветровой активности, рельефа местности, пожарных условий [16]. Подтверждением доминирования человеческого фактора в возникновении пожаров служат результаты многолетних исследований, которые позволили ранжировать причины возникновения лесных пожаров в Челябинской области:

2018 г. — с полей и других территорий, не относящихся к лесному фонду (398 шт./61,4 %) > **местное население** (215/33,2 %) > линии электропередач (19 шт./2,9 %) > на границах территорий лесного и нелесного фондов (11 шт./1,7 %) > от гроз (5 шт./0,8 %);

2019 г. — **местное население** (271 шт./50,8 %) > с полей и других территорий, не относящихся к лесному фонду (212 шт./39,7 %) > линии электропередач (22 шт./4,1 %) > от гроз (23 шт./4,3 %) > на границах территорий лесного и нелесного фондов (6 шт./1,12 %);

2020 г. — **местное население** (383 шт./65,25 %) > с полей и других территорий, не относящихся к лесному фонду (130 шт./22,1 %) > от гроз (41 шт./10,7 %) > линии электропередач (32 шт./2,95 %) > на границах территорий лесного и нелесного фондов (1 шт./1,59 %);

2021 г. — **местное население** (707 шт./65,1 %) > с полей и других территорий, не относящихся к лесному фонду (217 шт./20,0 %) > от гроз (116 шт./10,7 %) > линии электропередач (32 шт./2,95 %) > на границах территорий лесного и нелесного фондов (14 шт./1,29 %).

Следует уточнить, что причины возникновения пожаров, пришедших «с полей и других территорий, не относящихся к лесному фонду», вероятнее всего, также связаны с человеческим фактором.

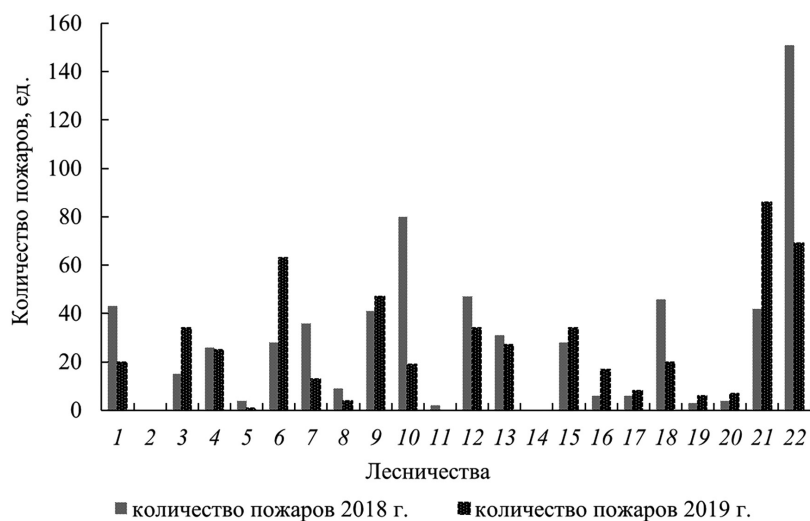


Рис. 1. Количество пожаров по лесничествам в 2018–2019 гг.: 1 — Аргаяшское; 2 — Ашинское; 3 — Брединское; 4 — Верхнеуральское; 5 — Златоустовские; 6 — Карталинское; 7 — Каслинское; 8 — Катав-Ивановское; 9 — Красноармейское; 10 — Кунашакское; 11 — Кусинское; 12 — Кыштымское; 13 — Миасское; 14 — Нязепетровское; 15 — Октябрьское; 16 — Пластовское; 17 — Саткинское; 18 — Увельское; 19 — Усть-Катавское; 20 — Уфалейское; 21 — Чебаркульское; 22 — Шершневское

Fig. 1. Number of fires by forestries in 2018-2019: 1 — Argayashskoye; 2 — Ashinskoye; 3 — Bredinskoye; 4 — Verkhneuralskoye; 5 — Zlatoust; 6 — Kartalinskoye; 7 — Kaslinskoye; 8 — Katav-Ivanovskoye; 9 — Krasnoarmeyskoye; 10 — Kunashakskoye; 11 — Kusinskoye; 12 — Kyshtymskoye; 13 — Miasskoye; 14 — Nyazepetrovskoye; 15 — Oktyabrskoye; 16 — Plastovskoye; 17 — Satkinskoye; 18 — Uvelskoye; 19 — Ust-Katavskoye; 20 — Ufaleiskoye; 21 — Chebarkulskoye; 22 — Shershnevskoye

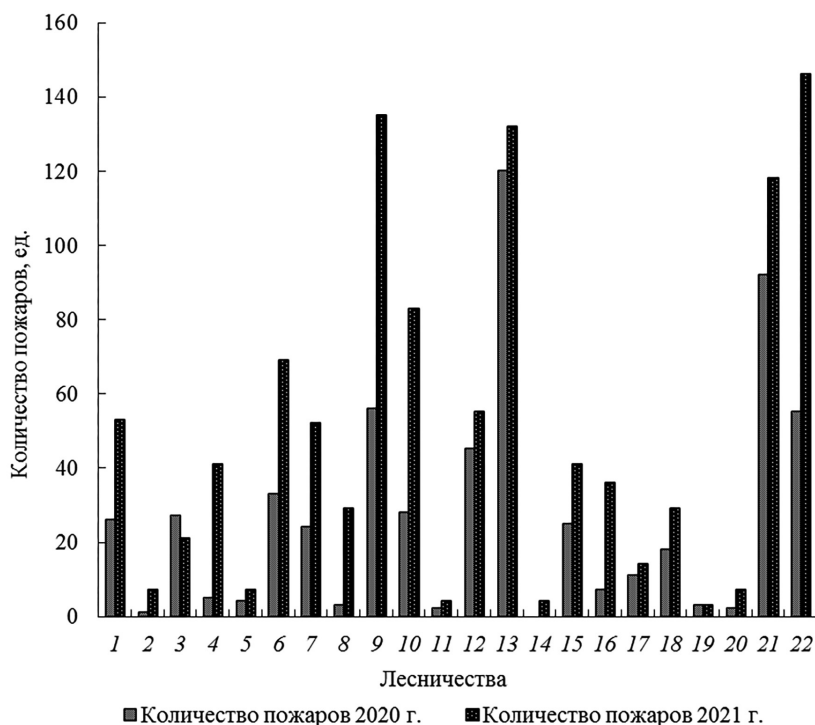


Рис. 2. Количество пожаров по лесничествам в 2020–2021 гг. (1–22 см. рис. 1)

Fig. 2. Number of fires by forestries in 2020-2021 (1-22 see Fig. 1)

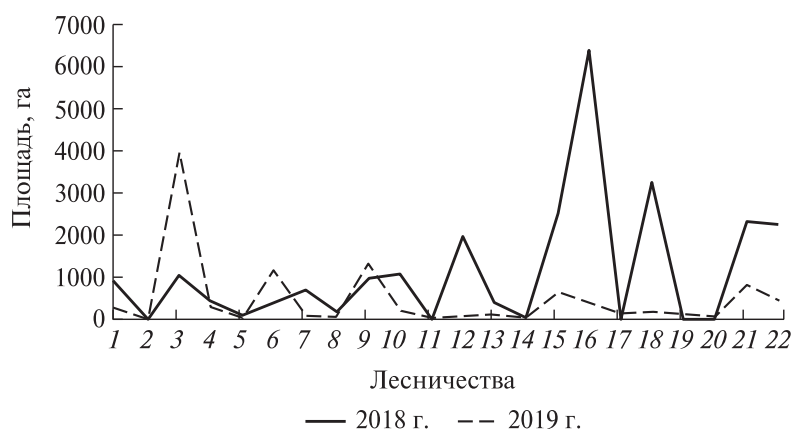


Рис. 3. Площадь пожаров по лесничествам в 2018–2019 гг. (1–22 см. рис.1)

Fig. 3. Fire area by forestries in 2018–2019 (1–22 see Fig. 1)

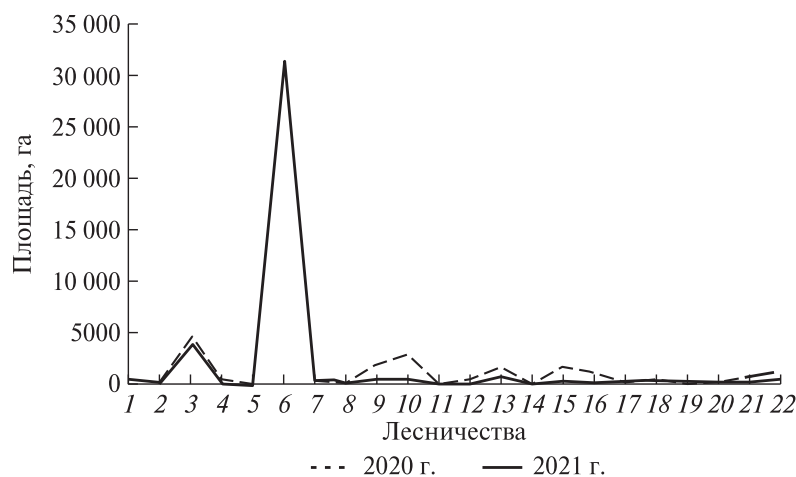


Рис. 4. Площадь пожаров по лесничествам в 2020–2021 гг., га (1–22 см. рис. 1)

Fig. 4. Fire area by forestries in 2020–2021, ha (1–22 см. рис. 1)

Согласно ст. 5 Лесного кодекса Российской Федерации, лес – это не только природный ресурс, но и экологическая система [17]. Федеральный закон «Об охране окружающей среды» № 7-ФЗ от 10.01.2002 г. закрепляет, что естественная экологическая система — это объективно существующая часть природной среды, которая имеет пространственно-территориальные границы и в которой живые (растения, животные и другие организмы) и неживые ее элементы взаимодействуют как единое функциональное целое и связаны между собой обменом веществом и энергией [18]. Лесные пожары, независимо от причин возникновения, наносят значительный ущерб лесному хозяйству, людям и обществу. Для лесного хозяйства экономический ущерб от лесного пожара состоит из потерь древесины на корню и стоимости работ по тушению, работ по расчистке и восстановлению, подвергшейся пожару местности, убытков от гибели животных [19], и, как следует из табл. 2, ущерб от пожаров может значительно превосходить затраты на их тушение.

Т а б л и ц а 2

Показатели экономического ущерба от лесных пожаров в Челябинской области за 2018 и 2019 гг. (по данным Главного управления лесами Челябинской области)
Indicators of economic damage from forest fires in the Chelyabinsk Region for 2018 and 2019 (according to the data of the Chelyabinsk Region Main Forest Department)

Показатель	2018	2019
Затраты на тушение, тыс. руб.	10 550,33	8 879,85
Ущерб от лесных пожаров, тыс. руб.	1 786 447,603	470 906,3532
Сгорело и повреждено древесины на корню, м ³	1 752 601,969	831 307,004
Погибло молодняков, га	81,5	492,5

В правилах тушения лесных пожаров прописано, что на практике подсчет ущерба от лесного пожара приравнивается к стоимости древесины на участке распространения пожара [20].

Т а б л и ц а 3

Федеральные классы пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды (приложение № 2 к приказу Рослесхоза от 05.07.2011 № 287)

Federal classes of fire danger in forests depending on weather conditions (Annex No. 2 to the order of Rosleskhoz from 05.07.2011 No. 287)

Класс пожарной опасности в лесах	Комплексный показатель*	Степень пожарной опасности
I	0...300	Отсутствует
II	301...1000	Малая
III	1001...4000	Средняя
IV	4001...10 000	Высокая
V	Более 10 000	Чрезвычайная

Примечание. *характеризует метеорологические (погодные), условия, определяется ежедневно по состоянию на 12–14 ч. Формула расчета класса природной пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды определяется как сумма произведения температуры воздуха (t°) на разность температур воздуха и точки росы (η — эта) за n дней без дождя (считая день выпадения более 3 мм осадков первым (1) днем без дождевого периода).

Как показали расчеты экономического ущерба, в 2018 г. сгорело в 2,1 раза больше древесины на корню, чем в 2019 г., но в 2019 г. молодняк погибло в 6 раз больше, чем в 2018 г., следовательно, потенциальный ущерб может быть значительно выше. Следует учитывать и тот факт, что экономическую ценность лесов составляют не только древесные ресурсы [17], поскольку в лесу содержится не только древесина, но и ценные животные, редкие растения, занесенные в Красную книгу Челябинской области или Российской Федерации, которые могут быть утрачены вследствие лесного пожара [21].

Определяющее значение на скорость распространения, силу и степень воздействия пожаров оказывают погодные условия (табл. 3), что указывает на необходимость регламентировать класс пожарной опасности лесного пожара (табл. 4, 5).

Самый высокий класс пожарной опасности был зафиксирован в мае и августе 2022 г. (табл. 4, рис. 5), что согласуется с данными Челябинского гидрометеоцентра [22]. В мае 2021 г. установилась очень теплая и засушливая погода со средней температурой воздуха +13...17 °С, что на 2...4 °С выше нормы, 24–25 мая в юго-восточных районах области наблюдалась сильная жара – с максимальной температурой воздуха до 36...37 °С. За весь май только 10 сут. выпадали осадки, причем разного количества по области: в восточных районах – 38 мм (месячная норма), в северо-восточных районах – 9 мм (всего 0,2 нормы осадков), на остальной территории области – 15...30 мм,

Т а б л и ц а 4

Класс пожарной опасности и площадь лесных пожаров, возникших за месяц 2021 г.

Fire danger class and area of forest fires during one month in 2021

Дата	Класс пожарной опасности (КПО), %	Площадь, пройденная пожарами за месяц, га
Апрель с 10.04	II – 14,3 III – 14,3 IV – 71,4	700,66
Май	IV – 58,1 V – 41,9	1794,966
Июнь	III – 3,3 IV – 96,7	1309,41
Июль	I – 12,9 II – 16,1 III – 38,7 IV – 32,3	14 572,73
Август	III – 19,4 IV – 58,1 V – 22,5	2576,8
Сентябрь	I – 10,0 II – 6,7 III – 33,3 IV – 50,0	2033,91
Октябрь	I – 35,5 II – 25,8 III – 38,7	360,04
Ноябрь по 18.11	I – 77,8 II – 22,2	340,15

Т а б л и ц а 5

Кратность патрулирования и количество лесных пожаров, возникших за месяц 2021 г.

Frequency of patrols and the number of forest fires that occurred during one month in 2021

Дата	Мониторинг пожарной опасности в лесах			
	Количество пожаров, возникших за месяц, ед.	Авиационный мониторинг, час	Наземное патрулирование, км	Наземное патрулирование, шт.
Апрель с 10.04	112	0	83 842	1267
Май	253	0	361 142	4763
Июнь	126	0	216 492	3757
Июль	110	0	176 819	3108
Август	269	0	216 765	3532
Сентябрь	112	0	107 723	2010
Октябрь	73	0	64 535	1208
Ноябрь по 18.11.	16	0	168	168

или 0,4...0,6 месячной нормы. Неблагоприятные погодные условия привели к обострению пожароопасной ситуации, и с 01.05.2021 г., как и

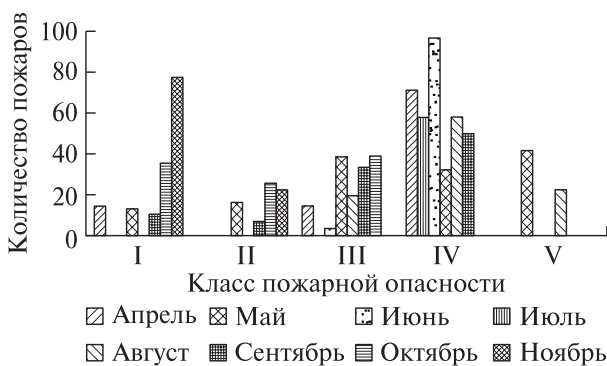


Рис. 5. Данные о классах пожарной опасности по месяцам в 2021 г.

Fig. 5. Data on fire danger classes by month in 2021

в 2020 г., был введен особый противопожарный режим (ОПР) на всей территории Челябинской области, о чем оповестили население с помощью СМС-рассылок. К сожалению, это не способствовало снижению влияния антропогенного фактора на лесные экосистемы.

Жарким и сухим характеризуется август 2021 г., со среднемесячной температурой воздуха до 18...22 °С, что выше нормы на 3...5 °С. Сильная жара (до 36...39 °С) наблюдалась 4–5, 19–20 августа в южной части области и 21–25 августа на всей территории области, кроме горных районов. В период с 17–20 по 26–27 августа на всей территории области наблюдалась аномально жаркая погода, когда среднесуточная температура воздуха превышала норму на 7...10 °С и составляла 22...29 °С. В периоды 1–6 и 12–27 августа аномальная жара сопровождалась суховеями, когда скорость ветра достигала 7...22 м/с при максимальной температуре воздуха 25 °С и выше и относительной влажности воздуха не более 30%. Август отличался практически отсутствием осадков, наибольшее их количество 22...41 мм выпало в предгорных северо-западных, юго-восточных и юго-западных районах, что составило всего 0,6...0,8 месячной нормы. Горные северо-западные и северо-восточные районы получили наименьшее количество осадков — 2,5 мм, или 0,1 месячной нормы, на остальной территории области суммарное количество осадков составило 6...20 мм, или, 0,2...0,3 нормы [22].

Понижение уровня пожарной опасности до I и II класса в ноябре также находится в прямой зависимости от погодных условий. Погода в ноябре характеризуется контрастной температурой воздуха, среднесуточная температура составляет –3,7...–6,0 °С, что на 0,5...2 °С выше нормы. Ноябрь отличился малоснежностью: максимальное количество осадков (23...45 мм, или 0,7...1,1 нормы) было зарегистрировано в крайних северных, горных северо-западных, местами в северо-

восточных и юго-восточных районах, минимальное (7...10 мм, или 0,3...0,5 нормы) в предгорных северо-западных, местами в юго-восточных и юго-западных районах, на остальной территории области суммарное количество осадков составило 11...19 мм, или 0,5...0,8 нормы. Опозданием на 2...10 сут. от средних многолетних дат характеризуется и установление постоянного снежного покрова. В горных северо-западных и в крайних северных районах снежный покров установился 2–11 ноября, на остальной территории области — 12–14 ноября, в срок или на 3–5 сут. позднее средних многолетних значений. На 30 ноября высота снежного покрова на всей территории области составила 3...9 см, что на 2...9 см ниже нормы. Местами в горных северо-западных и юго-восточных районах высота снежного покрова достигла 11...15 см, что на 1...3 см ниже нормы [22].

При возникновении пожаров наиболее опасен их переход в категорию «крупный пожар», особенно когда погодные условия в значительной степени способствуют этому. По оперативным данным, в мае 2021 г. произошло пять крупных пожаров общей площадью 340 га, причем все на лесной территории. Из пяти пожаров один был верховым, с охватом территории 34,6 га, или 52,6 % общей площади всех пожаров. В августе 2021 г. произошло 11 крупных пожаров, два из них — верховые (62,7 га, 17,3 % площади всех пожаров). Тушение двух из 11 пожаров происходило в течение 2 сут., а тушение пожара в Кунашакском лесничестве — в течение 5 сут. с 22.08 по 26.08, при этом площадь пожара составила 872,0 га, из них 836,2 га (95,9 %) — площадь лесной территории. В целом, 11 пожаров охватили территорию общей площадью 2666,55 га, из них лесной территории 2407,35 га (90,3 %) и 259,2 га (шесть крупных пожаров) на нелесной территории, или 9,7 %.

В ноябре было зарегистрировано четыре крупных пожара, в том числе один почвенный площадью 27,5 га, или 19,6 % всей площади этих пожаров. Пожар, возникший в Октябрьском лесничестве, тушили 2 сут., общая площадь пожара составила 241,14 га, из которой 131,68 га (54,6 %) относится к лесной и 109,46 га к нелесной территории.

Всего за весь пожароопасный период 2021 г. произошло 44 крупных пожара общей площадью 37 165,42 га, в том числе на лесной территории — 32 169,96 га (86,6 %), верховые пожары — 4713,57 га (12,7 %), почвенные пожары — 27,5 га (0,07 %), пожары на нелесной территории — 5185,82 га (14,0 %).

Для сравнения можно построить убывающие ряды:

– по количеству крупных пожаров: 2018 (63) > 2021 (44) > 2019 (25) > 2020 (21);

– по общей площади, охваченной этими пожарами (га): 2021 (37 165,4) > 2018 (20 067,46) > 2019 (6990,03) > 2020 (5002,87);

– по интенсивности крупного пожара (га/1 пожар): 2021 (844,7) > 2018 (318,5) > 2019 (279,6) > 2020 (238,2);

– по интенсивности пожара (га/1 пожар): 2021 (38,1) > 2018 (37,5) > 2019 (18,1) > 2020 (12,0).

За четырехлетний период наблюдений максимально высокое количество пожаров зафиксировано в 2021 г. — 1086, с максимально большим количеством площадей, пострадавших от верховых пожаров — 4722,46 га, что на 102,2 % больше, чем в 2018 г., который отличился очень высоким количеством крупных пожаров. Сокращению площадей, подвергшихся пожарам в 2019 и 2020 гг., способствует снижение количества верховых пожаров. Уменьшение числа верховых пожаров до 67,6 % в 2019 г., по сравнению с 2018 г., привело к сокращению подверженных пожарам лесных территорий, покрытых лесом, до 69,6 %.

На территории области в 2021 г. произошло более 1 тыс. природных возгораний общей площадью 41,4 тыс. га. Ликвидация их последствий и нанесенный ущерб оцениваются более чем в 1 млрд руб. Совершенно очевидно, что ущерб, наносимый пожарами лесным экосистемам [13, 23–27], а также возникающая угроза здоровью и жизни населения вызывает необходимость совершенствования способов их обнаружения и тушения, особенно вблизи населенных пунктов [28–38]. По данным первого замглавы Главного управления лесами по Челябинской области В.Н. Нигматуллина, в 2021 г. число пожаров оказалось вдвое больше, чем в 2020 г., их площадь выросла впятеро, а подсчитанные убытки — вчетверо [39]. Две трети природных пожаров произошли по вине людей, пик пришелся на август — 295 случаев. Объявленный еще в апреле противопожарный режим в Челябинской области не был отменен практически до конца ноября. Сильнее всех в 2021 г. от лесных пожаров пострадали южные районы области — Карталинский и Нагайбакский, в них был введен режим чрезвычайной ситуации. Для ликвидации возгораний задействовали авиацию ведомства: самолеты Бе-200, Ил-76 и вертолет Ми-8. В пос. Джабык в результате пожаров сгорело 63 дома, при этом 266 домовладений не были затронуты огнем. В пос. Запасное огнем было уничтожено девять домов, при этом пожары не затронули 143 домовладения [40].

Возрождение лесного массива может длиться многие десятилетия, поэтому важно не только устанавливать причины лесных возгораний и подсчитывать убытки от пожаров, но правильно и

своевременно проводить лесовосстановительные работы в соответствии разработанными лесохозяйственными регламентами лесовосстановления.

В каждом из 22 лесничеств Челябинской области в соответствии с приказом Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации № 188 от 25.03.2019 г. «Об утверждении Правил лесовосстановления, состава проекта лесовосстановления, порядка разработки проекта лесовосстановления и внесения в него изменений» разработаны и действуют лесохозяйственные регламенты.

В изученном нами лесохозяйственном регламенте Лесничества указаны следующие нормы:

Очередность лесовосстановительных мероприятий по типам леса для:

- 1) защитных лесов и свежих вырубок, дубрав;
- 2) эксплуатационных лесов, гарей, хвойных лесов, сосняков и ельников, липняковых и кисличных лесов, дубовых лесов;
- 3) прогалин и старых вырубок, мягколиственных лесов, сосняков, майниково-черничных и травяных лесов, ельников брусничных и черничных;
- 4) сосняков беломошных;
- 5) сосняков черничных;
- 6) для сосняков брусничных;
- 7) сосняков и ельников приручьевых, долгомошных лесов;
- 8) дубрав пойменных, сосняков сфагновых и осоко-сфагновых, ельников долгомошных, приручьевых сфагновых и для ольшаников.

Способы лесовосстановления:

- 1) естественный — использование природных процессов и мер содействия лесовосстановлению;
- 2) искусственный — осуществляется путем создания лесных культур;
- 3) комбинированный.

Ответственность за проведение лесовосстановления:

- 1) арендаторами — на лесных участках, предоставленных в аренду для заготовки древесины;
- 2) органами государственной власти, органами местного самоуправления в пределах их полномочий, определенных в соответствии со ст. ст. 81–84 Лесного кодекса Российской Федерации.

Способы лесовосстановления зависят от типов леса, от состояния и количества на них подроста и молодняка.

Лесовосстановительные мероприятия осуществляются в соответствии с утвержденным проектом лесовосстановления. С этой целью проводится ежегодный учет площадей вырубок, гарей, прогалин, иных не занятых лесными насаждениями или пригодных для лесовосстановления земель. Отдельно учитываются площади лесных участков, подлежащих естественному,

искусственному или комбинированному лесовосстановлению.

В регламенте подробно прописаны способы лесовосстановления в зависимости от группы типов леса, типов лесорастительных условий и количестве жизнеспособного подроста и молодняка (тыс. шт. на 1 га):

1) естественное лесовосстановление:

1.1) мероприятия по сохранению подроста, уход за подростом:

– для сосен и лиственниц нагорного и лишайникового леса при количестве подроста более 2,5 и брусничного и ягодникового леса при количестве подроста более 4,0;

– для берез брусничного и ягодникового леса при количестве подроста более 2,5 и травяного, липнякового, мшисто-хвощевого, болотно-травяного леса при количестве подроста более 4,0.

1.2) минерализация почв (обработка почв механическими, химическими или огневыми средствами в зависимости от их механического состава и влажности, густоты и высоты травяного покрова, мощности лесной подстилки, количества семенных деревьев):

– для сосен и лиственниц брусничного и ягодникового леса при количестве подроста более 1,5...3,5;

– для берез брусничного и ягодникового леса при количестве подроста более 1,0...2,5 и травяного, липнякового, мшисто-хвощевого, болотно-травяного леса при количестве подроста более 2,0...4,0;

2) искусственное лесовосстановление (при невозможности обеспечения естественного лесовосстановления или нецелесообразности комбинированного лесовосстановления хозяйственно ценными лесными древесными породами, в том числе на лесных участках, на которых есть погибшие лесные культуры):

– для сосен и лиственниц нагорного и лишайникового леса при количестве подроста менее 1,0 и брусничного и ягодникового леса при количестве подроста менее 2,0;

– для берез брусничного и ягодникового леса при количестве подроста менее 1,0 и травяного, липнякового, мшисто-хвощевого, болотно-травяного леса при количестве подроста менее 2,0;

3) комбинированное лесовосстановление (посадка и посев на лесных участках, на которых естественное лесовосстановление главными лесными древесными породами не обеспечивается):

3.1) минерализация почв:

– для сосен и лиственниц брусничного и ягодникового леса при количестве подроста более 1,5...3,5;

– для берез брусничного и ягодникового леса при количестве подроста более 1,0...2,5 и травя-

ного, липнякового, мшисто-хвощевого, болотно-травяного леса при количестве подроста более 2,0...4,0.

Ежегодный объем искусственного лесовосстановления составляет 305 га, естественного лесовосстановления — 10 га.

Обеспечение формирования лесных насаждений для разных категорий лесов.

Использование только районированных семян лесных насаждений, соответствующих требованиям Федерального закона № 149-ФЗ от 17.12.1997 «О семеноводстве».

Содействие естественному лесовосстановлению:

– сохранение возобновившегося под пологом лесных насаждений жизнеспособного поколения главных лесных древесных пород (подроста), способного образовывать в данных природно-климатических условиях новые лесные насаждения (древесные растения в возрасте до 2 лет (самосев) в подросте не учитываются);

– сохранение жизнеспособного укоренившегося подроста и молодняка (высотой более 2,5 м) главных лесных древесных пород при проведении рубок;

– уход за подростом главных лесных древесных пород на площадях, не занятых лесными насаждениями (приземление, оправка, окашивание и изреживание подроста, внесение удобрений, обработка гербицидами);

– минерализация поверхности почв на местах планируемых рубок спелых и перестойных насаждений и на вырубках;

– оставление семенных деревьев, куртин и групп; огораживание площадей;

– подавление корнеотпрысковой способности деревьев (инъекции арборицидов или окольцовывание);

– предотвращение зарастания поверхности почвы сорной травянистой и древесно-кустарниковой растительностью для накопления влаги в почве.

В регламенте прописаны:

1) агротехнический уход:

– ручная оправка растений от завала травой и почвой, заноса песком, размыва и выдувания почвы, выжимания морозом;

– рыхление почвы с одновременным уничтожением травянистой и древесной растительности в рядах культур и междурядьях;

– дополнение лесных культур, подкормка минеральными удобрениями и полив лесных культур;

2) лесоводственный уход:

– уничтожение или предупреждение появления травянистой и нежелательной древесной растительности (химическими способами).

Борьба с сорной травянистой и нежелательной лесной древесной растительностью с применением химических средств строго регламентирована и допускается в исключительных случаях с учетом требований охраны окружающей среды в соответствии с законодательством Российской Федерации.

Выводы

1. Количество площадей лесов, охваченных пожарами, и интенсивность пожаров зависят от количества верховых пожаров, распространению пожаров способствуют такие погодные условия как высокая температура и низкая влажность воздуха, скорость ветра.

2. Основная причина возникновения лесных пожаров в Челябинской области — неосторожное обращение с огнем местного населения. На наш взгляд, информирование населения при помощи СМС-рассылок не является достаточным, поэтому необходимо совершенствовать профилактическую работу с населением, особенно с молодежью, разрабатывая более креативные подходы, применяя цифровые технологии, а также активнее использовать Интернет. Важное значение имеет организация профилактической работы в учебных заведениях среднего и высшего звена, способствующей минимизации пожаров вследствие неосторожного обращения с огнем в лесу.

3. Размер пожара в огромной степени зависит от его своевременного обнаружения. Учитывая высокую горимость лесов Уральского региона, следует отметить, что службы обнаружения и тушения лесных пожаров Челябинской области сравнительно хорошо справляются с поставленными задачами, что позволяет специалистам Челябинской области удерживать пожарную обстановку под контролем.

4. Важным направлением деятельности лесничеств является послепожаровые лесовосстановительные мероприятия. Анализ утвержденных лесохозяйственных регламентов лесовосстановления, показал, что основой для реализации первоочередных мероприятий в начальный послепожарный период должна служить диагностика послепожарного состояния насаждений, а также своевременные санитарные рубки, позволяющие рационально использовать древесину нежизнеспособных сильно поврежденных огнем деревьев, создание условий для естественного возобновления леса при строгом регламенте применения химических средств в целях борьбы с сорняками, и нежелательной лесной древесной растительностью.

5. Для повышения эффективности послепожаровых лесовосстановительных работ рекомендуется включить в существующие регламенты


осуществление научных исследований по оценке характера и времени восстановления нарушенных лесных сообществ, изучение динамики их восстановления после пожаров.

Список литературы

- [1] Как восстанавливают лес после пожара // URL: <https://www.livemaster.ru> (дата обращения 18.11.2022).
- [2] Степаненко И.И. Критерии и индикаторы роста, продуктивности лесных насаждений при их интенсивном выращивании // ИВУЗ Лесной журнал, 2015. № 4. С. 18–29.
- [3] Данчева А.В., Залесов С.В. Влияние рубок ухода на биологическую устойчивость сосняков защитного назначения Северного Казахстана // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 4. С. 5–13. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-4-5-13
- [4] Гусев В.Г. О методе оценки возможности возникновения и распространения пожаров в лесах по их фактической горимости // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства, 2018. № 2. С. 40–52.
- [5] Сафонова Т.В., Яготинцева Н.В., Колбина О.Н., Мокряк А.В. Выбор методики прогнозирования рисков возникновения лесных пожаров // Безопасность труда в промышленности, 2022. № 4. С. 69–74.
- [6] Природные пожары. Причины их возникновения и последствия. Предупреждения лесных пожаров. Привлечение населения к борьбе с лесными пожарами. Действия при возникновении лесных пожаров. URL: <http://mchs.rutp.ru/mod/page/view.php?id=423> (дата обращения 01.06.2022 г.)
- [7] Савченкова В.А., Коршунов Н.А., Перминов А.В., Котельников Р.В. Практическое использование отечественных методов и технологий, а также средств обнаружения и тушения лесных пожаров. Пушкино: Изд-во ВНИИЛМ, 2021. 27 с.
- [8] Лесохозяйственный регламент Красноармейского лесничества Челябинской области. Утвержден приказом Главного управления лесами Челябинской области от 26.08.2019. № 521. 178 с.
- [9] Желдак В.И. Проблемы и перспективы развития лесоводства // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование, 2021. № 3 (51). С. 5–27.
- [10] Телеснина В.М., Семенов О.В., Богатырев Л.Г., Бенедиктова А.И. Особенности напочвенного покрова и лесных подстилок в искусственных липовых насаждениях в зависимости от характера ухода // Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение, 2018. № 2. С. 3–11.
- [11] Сулов А.В., Нагимов З.Я., Корелина А.А. Организация мониторинга насаждений в лесопарках города Екатеринбурга с применением математико-статистических методов // Успехи современного естествознания, 2021. № 6. С. 35–41. DOI: 10.17513/use.37638
- [12] Шубин Д.А., Залесова Е.С., Толстиков А.Ю. Показатели фактической горимости ленточных боров Алтайского края // Успехи современного естествознания, 2019. № 10. С. 23–28; URL: <https://natural-sciences.ru/article/view?id=37209> (дата обращения 18.11.2022).
- [13] Залесова Е.С., Оплетаев А.С., Платонов Е.Ю., Хабибуллин А.Ф., Кутыева Г.А. Горимость лесов Уральского федерального округа и эффективность охраны их от пожаров // Леса России и хозяйство в них, 2017. № 2 (61). С. 47–56.

- [14] Сверлова Л.И. Метод оценки пожарной опасности в лесах по условиям погоды с учетом поясов атмосферной засушливости и сезонов года. Хабаровск: Изд-во ДВ УГМС, 2000. 46 с.
- [15] Воробьев Ю.Л., Акимов В.А., Соколов Ю.И. Лесные пожары на территории России: Состояние и проблемы / под ред. Ю.Л. Воробьева. М.: ДЭКС-ПРЕСС, 2004. 312 с.
- [16] Абдрашитов Р.Т., Пешков В.В., Аралбаев Т.З. К вопросу прогнозирования пожаров // Пожарная безопасность, 2000. № 3. С. 100–103.
- [17] Лесной кодекс Российской Федерации. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64299/ (дата обращения 18.11.2022).
- [18] Об охране окружающей среды. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/ (дата обращения 18.11.2022).
- [19] Маркин Е.И., Николова Л.В. Экономический ущерб от лесных пожаров на примере Северо-Западного федерального округа // Молодой ученый, 2019. № 44 (282). С. 49–51.
- [20] Горина А.А. Проблема экономических и экологических рисков при принятии решения о прекращении тушения лесного пожара // Молодой ученый, 2019. № 16 (254). С. 83–86.
- [21] Белькова Т. А., Перминов В. А., Алексеев Н. А. Обзор эколого-экономических последствий торфяных пожаров // XXI век. Техносферная безопасность, 2016. № 3. С. 35–44.
- [22] Челябинский гидрометецентр URL: <http://www.chelprogoda.ru/pages/1416.php> (дата обращения 18.11.2022).
- [23] Анисеев Д.Р., Юсупов И.А., Луганский Н.А., Залесов С.В., Лопатин К.И. Влияние продуктов сжигания попутного газа при добыче нефти на репродуктивное состояние сосновых древостоев в северотаежной подзоне // Экология, 2006. № 2. С. 122–126.
- [24] Шубин Д.А., Залесов С.В. Послепожарный отпад деревьев в сосновых насаждениях Приобского водохранилища сосново-березового лесохозяйственного района Алтайского края // Аграрный вестник Урала, 2013. № 5 (111). С. 39–41.
- [25] Шубин Д.А., Малиновских А.А., Залесов С.В. Влияние пожаров на компоненты лесного биогеоценоза в Верхнеобском боровом массиве // Известия Оренбургского государственного аграрного университета, 2013. № 6 (44). С. 205–208.
- [26] Шубин Д.А., Залесов С.В. Последствия лесных пожаров в сосняках Приобского водохранилища сосново-березового лесохозяйственного района Алтайского края. Екатеринбург: Изд-во УГЛТУ, 2016. 127 с.
- [27] Архипов Е.В., Залесов С.В. Динамика лесных пожаров в Республике Казахстан и их экологические последствия // Аграрный вестник Урала, 2017. № 4 (158). С. 10–15.
- [28] Залесов С.В., Миронов М.П. Обнаружение и тушение лесных пожаров. Екатеринбург: Изд-во УГЛТУ, 2004. 138 с.
- [29] Залесов С.В., Магасумова А.Г., Новоселова Н.Н. Организация противопожарного устройства насаждений, формирующихся на бывших сельскохозяйственных угодьях // Вестник Алтайского государственного аграрного университета, 2010. № 4 (66). С. 60–63.
- [30] Залесов С.В., Залесова Е.С., Оплетаяев А.С. Рекомендации по совершенствованию охраны лесов от пожаров в ленточных борах Прииртышья. Екатеринбург: Изд-во УГЛТУ, 2014. 67 с.
- [31] Залесов С.В., Данчева А.В., Муқанов Б.М., Эбель А.В., Эбель Е.И. Роль рубок ухода в повышении пожароустойчивости сосняков Казахского мелкосопочника // Аграрный вестник Урала, 2013. № 6 (112). С. 64–68.
- [32] Залесов С.В., Годовалов Г.А., Кректунов А.А. Система пожаротушения NATISK для остановки и локализации лесных пожаров // Современные проблемы науки и образования, 2014. № 3. URL: <http://www.scienceeducation.ru/117-12757> (дата обращения 19.01.2023).
- [33] Залесов С.В., Годовалов Г.А., Кректунов А.А., Оплетаяев А.С. Новый способ создания заградительных и опорных противопожарных полос // Вестник Башкирского государственного аграрного университета, 2014. № 3. С. 90–94.
- [34] Залесов С.В., Годовалов Г.А., Кректунов А.В. Населенным пунктам — надежную защиту // Леса России и хозяйство в них, 2014. № 2 (49). С. 11–13.
- [35] Марченко В.П., Залесов С.В. Горимость ленточных боров Прииртышья и пути ее минимизации на примере ГУ ГЛПР «Ертыс орманы» // Вестник Алтайского государственного аграрного университета, 2013. № 10 (108). С. 55–59.
- [36] Архипов Е.В., Залесов С.В. Горимость сосновых лесов Казахского мелкосопочника // Вестник Алтайского государственного аграрного университета, 2016. № 9 (143). С. 64–69.
- [37] Залесов С.В., Кректунов А.А., Шубин Д.А. Расширение практики применения отжига для защиты населенных пунктов от природных пожаров // Эко-потенциал, 2016. № 1 (13). С. 37–47.
- [38] Данчева А.В., Залесов С.В. Влияние рубок ухода на биологическую и пожарную устойчивость сосновых древостоев // Аграрный вестник Урала, 2016. № 03 (145). С. 56–61.
- [39] Лесные пожары 2021 года нанесли Челябинской области ущерб в миллиард рублей // URL: <https://chel.dk.ru/> (дата обращения 19.01.2023).
- [40] В Челябинской области ликвидировали все природные пожары // URL: <https://iz.ru/> (дата обращения 19.01.2023).

Сведения об авторах

Сибиркина Альфира Равильевна  — д-р биол. наук, профессор кафедры геоэкологии и природопользования, ФГБОУ ВО «Челябинский государственный университет», sibirkina_alfira@mail.ru

Лихачев Сергей Федорович — д-р биол. наук, профессор кафедры геоэкологии и природопользования, ФГБОУ ВО «Челябинский государственный университет», министр экологии Челябинской области, likhashev@mail.ru

Поступила в редакцию 26.12.2022.

Одобрено после рецензирования 21.06.2023.

Принята к публикации 18.07.2023.

FOREST FIRES IN THE CHELYABINSK REGION FORESTS FOR 2018–2021 AND REQUIREMENTS ANALYSIS FOR FOREST REPRODUCTION IN FOREST REGULATIONS

A.R. Sibirkina^{1✉}, S.F. Likhachev^{1, 2}

¹Chelyabinsk State University, 129, Br. Kashirin's st., 454001, Chelyabinsk, Chelyabinsk reg., Russia

²Ministry of Ecology of Chelyabinsk region, 57, Lenin av., 454091, Chelyabinsk, Chelyabinsk reg., Russia

sibirkina_alfira@mail.ru

The article presents the results of a four-year study of the number of forest fires on the territory of 22 forestries in the Chelyabinsk region. It was revealed that the main cause of fires is the human factor such as careless handling of fire. The number and intensity of fires are somewhat dependent on the number of crown fires and weather conditions. Forest fires cause enormous economic and environmental damage to the environment. The damage from a forest fire consists of the loss of standing wood and the cost of extinguishing work, clearing and restoring burned areas, losses from the death of animals, moreover, the calculations have shown that the economic damage from fires can significantly exceed the cost of extinguishing them. Environmental damage from fires consists of the loss of natural resources, for example, valuable animals or rare plants, listed in the Red Book of the Chelyabinsk region of Russia, may be lost due to a forest fire. In order to carry out the most effective reforestation and afforestation, each of the 22 forest areas has developed forest management regulations for reforestation in accordance with the Order of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation No. № 188 by 25.03.2019 making changes to it. The article presents an analysis of the forestry regulations on the example of the Krasnoarmeyskoye forestry of the Chelyabinsk region.

Keywords: forest fires, Chelyabinsk region, forestry regulations

Suggested citation: Sibirkina A.R., Likhachev S.F. *O lesnykh pozharakh v lesakh Chelyabinskoy oblasti za 2018–2021 gody i analiz trebovaniy k vosproizvodstvu lesov v lesokhozyaystvennom reglamente* [Forest fires in the Chelyabinsk region forests for 2018–2021 and requirements analysis for forest reproduction in forest regulations]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2023, vol. 27, no. 5, pp. 60–73. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-5-60-73

References

- [1] *Kak vosstanavlivayut les posle pozhara* [How a forest is restored after a fire]. Available at: <https://www.livemaster.ru> (accessed 18.11.2022).
- [2] Stepanenko I.I. *Kriterii i indikatory rosta, produktivnosti lesnykh nasazhdeniy pri ikh intensivnom vyrashchivani* [Criteria and Indicators of Growth, Productivity of Forest Stands Under Their Intensive Cultivation]. *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2015, no. 4, pp. 18–29.
- [3] Dancheva A.V., Zalesov S.V. *Vliyanie rubok ukhoda na biologicheskuyu ustoychivost sosnyakov zashchitnogo naznacheniya Severnogo Kazakhstana* [Influence of thinning on protective pineries biosustainability in Northern Kazakhstan]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 4, pp. 5–13. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-4-5-13
- [4] Gusev V.G. *O metode otsenki vozmozhnosti vozniknoveniya i rasprostraneniya pozharov v lesakh po ikh fakticheskoy gorimosti* [On the method for assessing the possibility of occurrence and spread of fires in forests according to their actual fire rate]. *Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo khozyaystva* [Proceedings of the St. Petersburg Research Institute of Forestry], 2018, no. 2, pp. 40–52.
- [5] Safonova T.V., Yagotintseva N.V., Kolbina O.N., Mokryak A.V. *Vybor metodiki prognozirovaniya riskov vozniknoveniya lesnykh pozharov* [The choice of methods for predicting the risks of forest fires]. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti* [Bezopasnost' truda v promyshlennosti], 2022, no. 4, pp. 69–74.
- [6] *Prirodnye pozhary. Prichiny ikh vozniknoveniya i posledstviya. Preduprezhdeniya lesnykh pozharov. Privlechenie naseleniya k bor'be s lesnymi pozharami. Deystviya pri vozniknovenii lesnykh pozharov* [Natural fires. Their causes and consequences. Forest fire warnings. Involvement of the population in the fight against forest fires. Actions in the event of forest fires]. Available at: <http://mchs.rutp.ru/mod/page/view.php?id=423> (accessed 01.06.2022).
- [7] Savchenkova V.A., Korshunov N.A., Perminov A.V., Kotel'nikov R.V. *Prakticheskoe ispol'zovanie otechestvennykh metodov i tekhnologiy, a takzhe sredstv obnaruzheniya i tusheniya lesnykh pozharov* [Practical use of domestic methods and technologies, as well as means for detecting and extinguishing forest fires]. Pushkino: VNIILM, 2021. 27 p.
- [8] *Lesokhozyaystvennyy reglament Krasnoarmeyskogo lesnichestva Chelyabinskoy oblasti. Utverzhden prikazom Glavnogo upravleniya lesami Chelyabinskoy oblasti ot 26.08.2019* [Forestry regulations of the Krasnoarmeyskoye forestry of the Chelyabinsk region. Approved by the Order of the Main Department of Forests of the Chelyabinsk Region dated August 26, 2019], 2019, no. 521, 178 p.
- [9] Zheldak V.I. *Problemy i perspektivy razvitiya lesovodstva* [Problems and prospects for the development of forestry]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie* [Bulletin of the Volga State Technological University. Series: Forest. Ecology. Nature management], 2021, no. 3 (51), pp. 5–27.
- [10] Telesnina V.M., Semenyuk O.V., Bogatyrev L.G., Benediktova A.I. *Osobennosti napochvennogo pokrova i lesnykh podstilok v iskusstvennykh lipovykh nasazhdeniyakh v zavisimosti ot kharaktera ukhoda* [Features of a ground cover and forest litter of artificial lime plantations depending on the nature of care]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 17. Pochvovedenie* [Moscow University Soil Science Bulletin], 2018, no. 18, pp. 3–11.

- [11] Suslov A.V., Nagimov Z.Ya., Korelina A.A. *Organizatsiya monitoringa nasazhdeniy v lesoparkakh goroda Ekaterinburga s primeneniem matematiko-statisticheskikh metodov* [Organization of monitoring of plantings in forest parks of the city of Yekaterinburg with the use of mathematical and statistical methods]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Advances in current natural sciences], 2021, v. 6, no. 1, pp. 35–41. DOI: 10.17513/use.37638
- [13] Zalesova E.S., Opletaev A.S., Platonov E.Yu., Khabibullin A.F., Kutyeva G.A. *Gorimost' lesov Ural'skogo federal'nogo okruga i effektivnost' okhrany ikh ot pozharov* [Burning forests of the Ural Federal District and the effectiveness of their protection from fires]. *Les Rossii i khozyaystvo v nikh* [Forests of Russia and the economy in them], 2017, no. 2 (61), pp. 47–56.
- [14] Sverlova L.I. *Metod otsenki pozharoy opasnosti v lesakh po usloviyam pogody s uchedom poyasov atmosferynoy zasushlivosti i sezonov goda* [A method for assessing fire hazard in forests according to weather conditions, taking into account atmospheric dryness belts and seasons of the year]. Khabarovsk: DV UGMS, 2000, 46 p.
- [15] Vorob'ev Yu.L., Akimov V.A., Sokolov Yu.I. *Lesnye pozhary na territorii Rossii: Sostoyanie i problemy* [Forest fires on the territory of Russia: State and problems]. Moscow: DEKS-PRESS, 2004, 312 p.
- [16] Abdrashitov R.T., Peshkov V.V., Aralbaev T.Z. *K voprosu prognozirovaniya pozharov* [On the issue of forecasting fires]. *Pozharnaya bezopasnost'* [Fire safety], 2000, no. 3, pp. 100–103.
- [17] *Lesnoy kodeks Rossiyskoy Federatsii* [Forest Code of the Russian Federation]. Available at: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64299/ (accessed 18.11.2022).
- [18] *Ob okhrane okruzhayushchey sredy* [On environmental protection]. Available at: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/ (accessed 18.11.2022).
- [19] Markin E.I., Nikolova L.V. *Ekonomicheskiy usherb ot lesnykh pozharov na primere Severo-Zapadnogo federal'nogo okruga* [Economic damage from forest fires on the example of the Northwestern Federal District]. *Molodoy uchenyy* [Young scientist], 2019, no. 44 (282), pp. 49–51.
- [20] Gorina A.A. *Problema ekonomicheskikh i ekologicheskikh riskov pri prinyatii resheniya o prekrashchenii tusheniya lesnogo pozhara* [The problem of economic and environmental risks when making a decision to stop extinguishing a forest fire]. *Molodoy uchenyy* [Young scientist], 2019, no. 16 (254), pp. 83–86.
- [21] Bel'kova T. A., Perminov V. A., Alekseev N. A. *Obzor ekologo-ekonomicheskikh posledstviy torfyanykh pozharov* [Review of ecological and economic consequences of peat fires]. *XXI vek. Tekhnosfernaya bezopasnost'* [XXI century. Technosphere safety], 2016, no. 3, pp. 35–44.
- [22] *Chelyabinskiiy gidrometeorotsentr* [Chelyabinsk hydrometeorological center]. Available at: <http://www.chelpogoda.ru/pages/1416.php> (accessed 18.11.2022).
- [23] Anikeev D.R., Yusupov I.A., Luganskiy N.A., Zalesov S.V., Lopatin K.I. *Vliyanie produktov szhiganiya poputnogo gaza pri dobyche nefi na reproduktivnoe sostoyanie sosnovykh drevostoev v severotaezhnoy podzone* [Influence of associated gas combustion products during oil production on the reproductive state of pine stands in the northern taiga subzone]. *Ekologiya* [Ecology], 2006, no. 2, pp. 122–126.
- [24] Shubin D.A., Zalesov S.V. *Poslepozharный отпад деревьев в сосновых насаждениях Приобского водохозяйственного сосново-березового лесохозяйственного района Алтайского края* [Post-fire mortality of trees in pine plantations of the Priobsky water protection pine-birch forestry region of the Altai Territory]. *Agrarnyy vestnik Urala* [Agrarian Bulletin of the Urals], 2013, no. 5 (111), pp. 39–41.
- [25] Shubin D.A., Malinovskikh A.A., Zalesov S.V. *Vliyanie pozharov na komponenty lesnogo biogeotsenoza v Verkhne-Obskom borovom massive* [Influence of fires on the components of forest biogeocenosis in the Upper Ob forest massif]. *Izvestiya Orenburg. gos. agrarn. un-ta* [Bulletin of the Orenburg State Agrarian University], 2013, no. 6 (44), pp. 205–208.
- [26] Shubin D.A., Zalesov S.V. *Posledstviya lesnykh pozharov v sosnyakh Priobского водохозяйственного сосново-березового лесохозяйственного района Алтайского края* [The consequences of forest fires in the pine forests of the Priobsky water protection pine-birch forestry region of the Altai Territory]. *Yekaterinburg: Ural. gos. lesotekhn. un-t* [Ural State Forestry University], 2016, 127 p.
- [27] Arkhipov E.V., Zalesov S.V. *Dinamika lesnykh pozharov v Respublike Kazakhstan i ikh ekologicheskie posledstviya* [Dynamics of forest fires in the Republic of Kazakhstan and their environmental consequences]. *Agrarn. vestnik Urala* [Agrarian Bulletin of the Urals], 2017, no. 4 (158), pp. 10–15.
- [28] Zalesov S.V., Mironov M.P. *Obnaruzhenie i tushenie lesnykh pozharov* [Detection and suppression of forest fires]. *Yekaterinburg: Ural. gos. lesotekhn. un-t* [Ural State Forestry University], 2004, 138 p.
- [29] Zalesov S.V., Magasumova A.G., Novoselova N.N. *Organizatsiya protivopozharnogo ustroystva nasazhdeniy, formiruyushchikhsya na byvshikh sel'skokhozyaystvennykh ugod'yakh* [Organization of the fire-fighting device of plantings formed on former agricultural lands]. *Vestnik Altaysk. gos. agrarn. un-ta* [Bulletin of the Altai State Agrarian University], 2010, no. 4 (66), pp. 60–63.
- [30] Zalesov S.V., Zalesova E.S., Opletaev A.S. *Rekomendatsii po sovershenstvovaniyu okhrany lesov ot pozharov v lentochnykh borakh Priirtysh'ya* [Recommendations for improving the protection of forests from fires in the ribbon forests of the Irtysh region]. *Yekaterinburg: Ural. gos. lesotekhn. un-t* [Ural State Forestry University], 2014, 67 p.
- [31] Zalesov S.V., Dancheva A.V., Mukanov B.M., Ebel' A.V., Ebel' E.I. *Rol' rubok ukhoda v povyshenii pozharoustoychivosti sosnyakov Kazakhского мелкосопочника* [The role of thinnings in increasing the fire resistance of pine forests of the Kazakh uplands]. *Agrarnyy vestnik Urala* [Agrarian Bulletin of the Urals], 2013, no. 6 (112), pp. 64–68.
- [32] Zalesov S.V., Godovalov G.A., Krektunov A.A. *Sistema pozharotusheniya NATISK dlya ostanovki i lokalizatsii lesnykh pozharov* [NATISK fire extinguishing system for stopping and localizing forest fires]. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education], 2014, no. 3. Available at: <http://www.scienceeducation.ru/117-12757> (accessed 19.01.2023).
- [33] Zalesov S.V., Godovalov G.A., Krektunov A.A., Opletaev A.S. *Novyy sposob sozdaniya zagradytel'nykh i opornykh protivopozharnykh polos* [A new way to create barrier and support firebreaks]. *Vestnik Bashkirskogo gos. agrarn. un-ta* [Bulletin of the Bashkir State Agrarian University], 2014, no. 3, pp. 90–94.
- [34] Zalesov S.V., Godovalov G.A., Krektunov A.V. *Naselennyy punktam — nadezhnyu zashchitu* [Settlements — reliable protection]. *Les Rossii i khozyaystvo v nikh* [Forests of Russia and the economy in them], 2014, no. 2 (49), pp. 11–13.

- [35] Marchenko V.P., Zalesov S.V. *Gorimost' lentochnykh borov Priirtysh'ya i puti ee minimizatsii na primere GU GLPR «Ertys ormany»* [Combustibility of tape forests in the Irtysh region and ways to minimize it on the example of the GU GLPR «Ertys ormany»]. *Vestnik Altayskogo gos. agrarn. un-ta* [Bulletin of the Altai State Agrarian University], 2013, no. 10 (108), pp. 55–59.
- [36] Arkhipov E.V., Zalesov S.V. *Gorimost' sosnovykh lesov Kazakhskogo melkosopchnika* [Burning of pine forests of the Kazakh upland]. *Vestnik Altayskogo gos. agrarn. un-ta* [Bulletin of the Altai State Agrarian University], 2016, no. 9 (143), pp. 64–69.
- [37] Zalesov S.V., Krekturnov A.A., Shubin D.A. *Rasshirenie praktiki primeneniya otzhiga dlya zashchity naseleennykh punktov ot prirodnykh pozharov* [Expansion of the practice of using annealing to protect settlements from natural fires]. *Eko-potentsial* [Eco-potential], 2016, no. 1 (13), pp. 37–47.
- [38] Dancheva A.V., Zalesov S.V. *Vliyaniye rubok ukhoda na biologicheskuyu i pozharную ustoychivost' sosnovykh drevostoev* [Influence of thinnings on the biological and fire resistance of pine stands]. *Agrarnyy vestnik Urala* [Agrarian Bulletin of the Urals], 2016, no. 03 (145), pp. 56–61.
- [39] *Lesnye pozhary 2021 goda nanesli Chelyabinskoy oblasti ushcherb v milliard rubley* [The forest fires of 2021 caused damage to the Chelyabinsk region in the amount of one billion rubles]. Available at: <https://chel.dk.ru/> (accessed 19.01.2023).
- [40] *V Chelyabinskoy oblasti likvidirovali vse prirodnye pozhary* [All natural fires were eliminated in the Chelyabinsk region]. Available at: <https://iz.ru/> (accessed 19.01.2023).

Authors' information

Sibirskina Al'fira Ravil'evna [✉] — Dr. Sci. (Biology), Associate Professor, Dean of the Faculty of Ecology, Federal State Budgetary Educational Institution Chelyabinsk State University, sibirskina_alfira@mail.ru

Likhachev Sergey Fedorovich — Dr. Sci. (Biology), Professor of the Department of Geoecology and Nature Management Federal State Budgetary Educational Institution Chelyabinsk State University, Minister of Ecology of the Chelyabinsk Region, likhashev@mail.ru

Received 26.12.2022.

Approved after review 21.06.2023.

Accepted for publication 18.07.2023.

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 АССИМИЛЯЦИОННОГО АППАРАТА ИЗОЛИРОВАННЫХ ПОПУЛЯЦИЙ СОСНЫ (БОЛЬШОЙ СОЛОВЕЦКИЙ ОСТРОВ)

А.Н.Соболев¹, П.А.Феклистов^{2✉}, А.В.Грязькин³, О.И.Гаврилова⁴

¹ФГБУК «Соловецкий государственный историко-архитектурный и природный музей-заповедник», Россия, 163000, Архангельская обл., Приморский р-н, муниципальное образование Соловецкое, пос. Соловецкий (остров Соловки)

²ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова» (ФИЦКИА РАН), Россия, 163020, Архангельская обл., г. Архангельск, Никольский пр-кт, д. 20

³ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова» (СПбГЛТУ им. С.М. Кирова), 194021, Россия, г. Санкт-Петербург, Институтский пер, д. 5, литера У

⁴ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет», Россия, 185096, Республика Карелия, г. Петрозаводск, пр. Ленина, д. 33

pfeklistov@yandex.ru

Приведены результаты исследования ассимиляционного аппарата в изолированных от материка популяциях сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) и сосны скрученной (*Pinus contorta*) на Большом Соловецком острове. Представлены три объекта сосняк черничный естественного происхождения и культуры сосны скрученной и сосны обыкновенной в черничных условиях местопроизрастания. Установлены параметры хвои сосны обыкновенной в сосняке естественного происхождения и в культурах сосны обыкновенной и сосны скрученной. Выявлено, что параметры средней хвоинки в естественном сосняке и в культурах (сосна обыкновенная) довольно близки. Масса средней хвоинки, ширина и толщина достоверно не различаются, а различаются лишь длина и площадь. Так же достоверно не отличаются масса хвои на ветви. Выявлено, что масса хвои на ветви составляет 169...181 г, масса средней хвоинки 14...15 мг, длина 28 и 36 мм в культурах. В то же время все показатели существенно ниже, чем у сосны на материке (Приморский район Архангельской области). Установлено, что параметры хвои сосны скрученной в культурах выше показателей сосны обыкновенной в культурах примерно в 1,5–2 раза. Предельная продолжительность жизни хвои сосны обыкновенной (определенная по массе) 7 лет в естественных сосняках и 5 лет в культурах. Выявлено, что наиболее существенную роль имеет хвоя до 4 лет у сосны обыкновенной и до 5 лет у сосны скрученной. Показано, что длина хвои, сформированная в разные календарные годы, заметно различается. Установлено, что в динамике длины хвоинки прослеживается трехлетняя цикличность. Определено, что на длину хвои текущего года влияет ее размер предыдущего года. Выявлено, что в изученных условиях положение в кроне не влияет на параметры хвои, то есть часть кроны (верхняя, средняя, нижняя) не оказывает влияния.

Ключевые слова: хвоя, продолжительность жизни, масса, размеры, часть кроны, сосняки черничные

Ссылка для цитирования: Соболев А.Н., Феклистов П.А., Грязькин А.В., Гаврилова О.И. Особенности ассимиляционного аппарата изолированных популяций сосны (Большой Соловецкий остров) // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 5. С. 74–81. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-5-74-81

Лесные экосистемы Соловецких островов изолированы от материка и расположены на расстоянии 20...40 км от него. Значительную долю лесных экосистем здесь составляют сосняки различных типов леса [1] со своими темпами роста. Самые продуктивные — сосняки черничные, судя по развитию и работе ассимиляционного аппарата деревьев. При этом данных о параметрах хвои почти нет [2].

Цель работы

Так как Соловецкие острова являются объектом Всемирного наследия ЮНЕСКО, и леса отнесены к защитным, имеющим научное и историческое значение, была поставлена задача изучить наиболее значимые показатели ассими-

ляционного аппарата рода сосны в наиболее распространенном типе леса — сосняке черничном, образованном как естественным путем, так и в культурах сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) и сосны скрученной (*Pinus contorta*), сравнить с данными для материковых сосняков черничных.

Материалы и методы

Для изучения ассимиляционного аппарата в типичном для Большого Соловецкого острова сосняке черничном была заложена пробная площадь 1 (ПП1), две ПП в культурах сосны обыкновенной и сосны скрученной (ПП30а и ПП30б).

При закладке ПП использовались широко известные и используемые рекомендации [3–6] и в соответствии с нормами ГОСТ 16128–70 и ОСТ 56–69–83 [7, 8]. По ПП выполняли лесоводственно-геоботаническое описание. Тип леса

Таксационная характеристика древостоя

Taxation characteristics of the stand

Номер пробной площади	Состав	Порода	Средний диаметр ствола, см	Средняя высота, м	Абсолютная полнота, м ² /га	Относительная полнота	Возраст, лет	Бонитет	Запас древесины, м ³ /га
ПП1	7СЗЕ+Б, ОС	С	17,2	10,9	7,2	0,29	92	Va	42
ПП30а	10С	С	6,6	4,4	4,4	0,3	28	IV	13
ПП30б	10С	С. скруч	6,8	5,3	4,7	0,3	28	III	16

устанавливался согласно методическим указаниям В.Н. Сукачева и С.В. Зонна [6] с учетом состава древостоя, почвенно-грунтовых условий, напочвенного покрова. Расчеты таксационных характеристик проводились в соответствии с рекомендациями И.И. Гусева [9].

Лесные культуры были созданы в одно и то же время на одной лесокультурой площади в 1928 г. в черничных условиях местопроизрастания. Естественный сосновый древостой и культуры заметно отличаются по своим таксационным показателям (табл. 1).

Изучение ассимиляционного аппарата хвои сосны обыкновенной и скрученной проводилось на основе рекомендаций А.Р. Родина, М.Д. Мерзленко [10], Н.И. Базилевич и др. [11]. В ходе исследования срезали средние по степени охвоения ветки из верхней, средней и нижней трети кроны учетных деревьев. Последние подбирали разного диаметра пропорционально числу стволов в ступенях толщины древостоя. На ветвях обрывали всю хвою по возрастным фракциям. Каждую отдельную фракцию в лабораторных условиях взвешивали на электронных весах НВ-600-М (с точностью до 0,1 г), подсчитывали количество хвоинок в ней. Затем для каждой фракции вычисляли средний вес хвоинки и отбирали среднюю хвоинку с помощью торсионных весов типа ВТ (с точностью до 1 мг), а также электронных весов ВМ153М-II (с дискретностью измерения 1 мг). Далее с помощью штангенциркуля измеряли (с точностью до 0,1 мм) длину хвоинки сосны, ширину, толщину. Затем на основе полученных данных определяли ее площадь по формуле из работы [11]

$$S = 5,14L \left(\frac{b}{4} + \frac{a}{2} \right),$$

где S — площадь хвоинки, мм²;

L — длина хвоинки, мм;

b — ширина хвоинки, мм;

a — толщина хвоинки, мм.

Исследования проводились в течение нескольких лет. Для различных целей было использовано разное количество учетных деревьев — от 14 в

культурах до 173 в естественном сосняке (в разные годы исследований деревья использовались повторно или отбирались новые), на которых было выполнено 445 взвешиваний и 1335 измерений хвои.

Результаты и обсуждение

Сравнение размеров средней хвоинки позволяет констатировать следующее. Параметры средней хвоинки в естественном сосняке и в культурах довольно близки (табл. 2). Масса средней хвоинки, ширина и толщина достоверно не различаются (проверка проводилась по критерию Стьюдента), а различаются лишь длина и площадь. Также достоверно не отличаются масса хвои на ветви. Масса хвои на ветви составляет 169...181 г, масса средней хвоинки 14...15 мг, длина 28 мм и 36 мм в культурах.

Интересно сравнение параметров хвои на Соловках с параметрами в Приморском районе Архангельской области. Охвоенность ветвей почти в 2 раза меньше, чем на материке, то же самое наблюдается в отношении массы средней хвоинки, а ширина и толщина близки.

Интродуцент — сосна скрученная — по показателям ассимиляционного аппарата превосходит сосну обыкновенную: по массе средней хвоинки — в 2,4 раза, по длине — в 1,5 раза, по массе хвои на ветви — в 1,5 раза, по площади — в 1,7 раза и лишь по ширине и толщине — незначительно. В связи с этим рост сосны скрученной идет по бонитету III, а сосны обыкновенной по бонитету IV (см. табл. 1).

Объективно оценить значение хвои разных возрастов в продукционном процессе можно по ее массе. В сосняке черничном на Большом Соловецком острове масса хвои неуклонно снижается с возрастом от однолетней к семилетней (рис. 1). Это отчасти согласуется с ранее полученными данными [2], где оценка проводилась по количеству хвои и предельный возраст определен в 6 лет. По массе видно, что есть и семилетняя хвоя, но очевидно, что ее значение ничтожно, а пяти- и шестилетняя составляют примерно равную долю и ее тоже очень мало. Отмирание

**Параметры хвои сосны, произрастающей на Большом Соловецком острове
в естественных и искусственных древостоях**

Parameters of pine needles growing on the Bolshoy Solovetsky Island in natural and artificial stands

Тип леса сосняк черничный/объекты	Масса хвои на ветви, г	Масса средней хвоинки, мг	Размеры средней хвоинки			
			длина, мм	ширина, мм	толщина, мм	площадь, мм ²
Сосняк естественного происхождения (<i>Pinus sylvestris</i>)	180,6 ± 12,6	14,0 ± 0,5	28,33 ± 0,98	1,49 ± 0,03	0,69 ± 0,02	105,57 ± 4,94
Культуры сосны обыкновенной (<i>Pinus sylvestris</i>)	169,2 ± 11,1	15,0 ± 0,3	35,82 ± 2,92	1,43 ± 0,05	0,71 ± 0,02	131,71 ± 10,43
Культуры сосны скрученной (<i>Pinus contorta</i>)	261,0 ± 21,92	35,7 ± 2,5	56,05 ± 3,57	1,59 ± 0,04	0,81 ± 0,03	233,10 ± 20,21
Сосняк естественного происхождения (Приморский р-н Архангельской обл.) [12] (<i>Pinus sylvestris</i>)	366	28	42,5	1,0	0,6	120

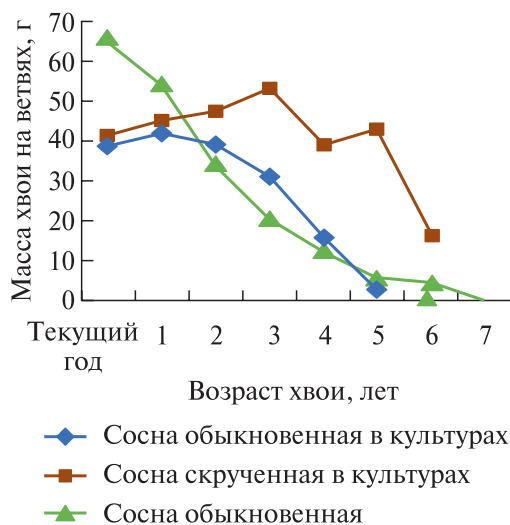


Рис. 1. Средняя масса хвои текущего года и других возрастов на модельных ветвях сосны

Fig. 1. Average mass of needles of the current year and other ages on model pine branches

хвои происходит постепенно по мере ее старения. В естественном сосняке этот процесс начинается сразу с первого года жизни, у сосны обыкновенной — в культурах через 3 года, а у сосны скрученной с 5 лет.

Несколько по-иному происходит распределение в культурах сосны обыкновенной и скрученной. У сосны обыкновенной хвоя сохраняется до пятилетнего возраста, а у сосны скрученной — до шестилетнего. У сосны обыкновенной в первые 4 года (хвоя текущего года, одно-, двух- и трехлетняя) масса хвои близка, а далее резко уменьшается, т. е. на четвертом году жизни наблюдается отмирание, продолжающееся до 5 лет. У сосны

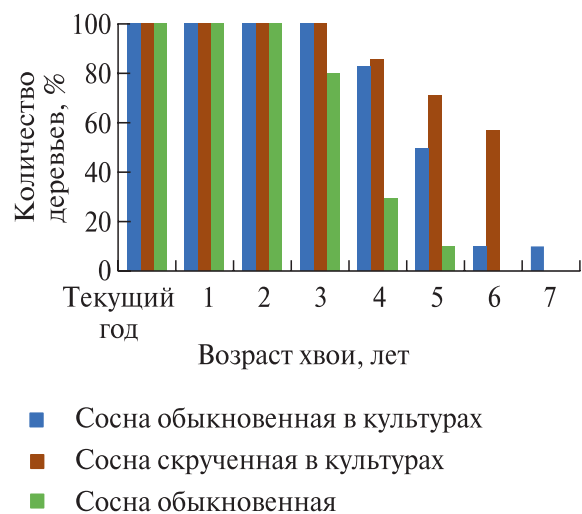


Рис. 2. Количество деревьев с наличием хвои текущего года и других возрастов

Fig. 2. Number of trees with presence of current year and other ages of needles

скрученной масса хвои стабильна при небольших колебаниях и лишь на шестом году происходит резкое отмирание.

Хвоя всех возрастов присутствует не на всех деревьях (рис. 2). Только хвоя текущего года, одно-, двухлетняя хвоя имеется на всех деревьях, а трехлетняя на 80 % деревьев в естественном сосняке и на всех деревьях в культурах. С четырехлетнего возраста хвоя начинает постепенно опадать, медленнее всего она опадает у сосны скрученной и быстро — у сосны обыкновенной, как в естественном древостое, так и в культурах.

Следовательно, ассимиляционный аппарат древостоя сосны обыкновенной фактически фор-

мируется за счет 1–3-летней хвои. В культурах имеет значение и 4-летняя хвоя у сосны обыкновенной, а у сосны скрученной много деревьев с хвоей до 6 лет.

Хвоя сосны в вегетационные периоды разных лет отличается по размерам [2]. В то же время ее ширина и толщина достоверно не отличаются. По данным В.Д. Надуткина, А.Н. Модянова [13], хвоя сосны растет в длину только в течение первого сезона, а с возрастом ее размеры не увеличиваются. В имеющихся у нас данных (рис. 3) прослеживается цикличность в динамике длины хвои, по максимумам и по минимумам продолжительность цикла составляет в среднем около 3 лет.

По-видимому, прослеживается автокорреляция, когда размеры текущего года влияют на размеры хвои следующего. Подобное явление широко известно в отношении семеношения сосны [14, 15], а так же в приросте древесины по диаметру [16]

Что влияет на длину хвои, однозначно ответить трудно. В частности J. Hustich [17] считает, что решающим фактором, влияющим на рост деревьев в северных широтах, является температура воздуха в течение вегетационного периода. Подобной точки зрения придерживаются и многие другие исследователи [18–21], которые считают, что длина хвои зависит от температуры воздуха текущего вегетационного сезона. По нашим данным [2], связь длины хвои сосны на Соловках с температурой воздуха текущего года чаще всего умеренная.

Мы попытались проанализировать некоторые имеющиеся данные на наличие автокорреляции. В частности, выяснили, что хвоя последующего года зависит от длины хвои в текущем году ($-1L$). Чем больше длина хвои текущего года, тем меньше будет хвоя следующего года. Теснота связи между этими показателями умеренная. Коэффициент корреляции составил $0,44 \pm 0,046$ (критерий Стюдента 891) в естественном сосняке, а в культурах он оказался несколько выше $-0,51$. Лучше это явление описывает парабола второй степени (рис. 4).

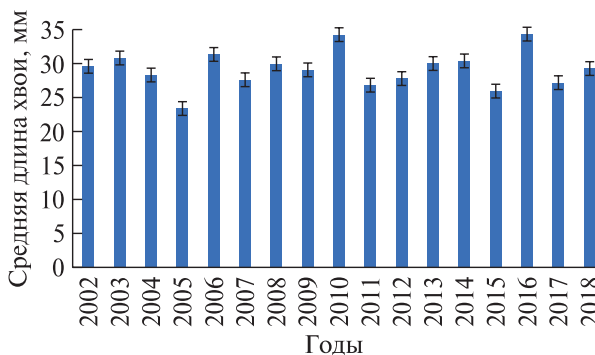


Рис. 3. Длина сформировавшейся в разные годы хвои сосны обыкновенной (ПП1)
Fig. 3. Length of needles formed in different years of Scots pine (PP1)

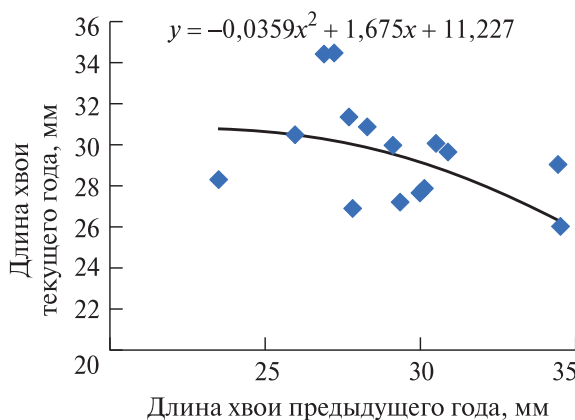


Рис. 4. Зависимость длины хвои текущего года от ее размеров в предыдущем году (ПП1)
Fig. 4. Dependence of needle length of the current year on its size in the previous year (PP1)

Теоретически это можно понять. В условиях северной тайги хвоя закладывается в почках в предыдущем году [22] примерно к середине июля [23]. На следующий год с началом вегетационного периода она начинает рост в соответствии с условиями окружающей среды. В случае длинной хвои, по-видимому, значительно количество пластических веществ идет на ее образование, а в почках, соответственно, закладывается меньший

Т а б л и ц а 3

Влияние части кроны на длину хвои у учетных деревьев (дерево 142)

Influence of crown part on needle length in the surveyed trees (tree 142)

Источник вариации	Сумма квадратов отклонений	Число степеней свободы	Дисперсия	Критерий Фишера F	Критическое значение критерия Фишера для уровня значимости 0,05
Межгрупповая	47,2304	2	23,6152	1,279	3,982
Внутригрупповая	203,0086	11	18,4553		
Итого	250,239	13	—		

размер на следующий год. Интересно, что размер хвои 2 года тому назад ($-2L$) однозначно не оказывает влияния на длину хвои текущего года. Коэффициент корреляции 0,02.

Часть кроны (верхняя, средняя, нижняя) не влияет на линейные размеры хвои (длину, ширину и толщину). Это показал дисперсионный анализ длины, ширины и толщины хвои из разных частей кроны у разных учетных деревьев и в разные календарные годы (табл. 3). Критерий Фишера расчетный составляет 1,28, что меньше табличного значения — 3,98 для уровня значимости 0,05, т. е. часть кроны не влияет на размер хвои. Для других учетных деревьев получены аналогичные результаты, незначительно изменялось лишь значение расчетного критерия Фишера. Подобные результаты получены и в отношении ширины и толщины. Интересно, что это не совсем согласуется с ранее полученными данными для материковых местобитаний. В частности, отмечалось, что основная масса хвои и максимальное количество находятся в средней части полога [24, 25]. Из этого следует, что в средней части кроны должна быть большая охвоенность побегов. Это требует уточнения для всех видов сосен на Соловках.

Выводы

Установлены параметры хвои сосны в островных условиях. Масса средней хвоинки сосны обыкновенной 14–15 мг, длина 28...35 мм, сосны скрученной — соответственно 36 мг и 56 мм.

Предельная продолжительность жизни хвои сосны обыкновенной (определенная по массе) составляет 5 лет в естественных сосняках и 7 лет в культурах, а у сосны скрученной — 6 лет. Наиболее существенное значение имеет хвоя до 3 лет у сосны обыкновенной и до 6 лет у сосны скрученной.

Длина формирующейся хвои в каждый календарный год разная. В изменении длины хвои прослеживается цикличность с периодом в среднем 3 года. На длину хвои текущего года влияет длина хвои предыдущего года.

Часть кроны не влияет на размеры хвои (длину, ширину и толщину).

Исследования выполнены в рамках государственного задания Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова УрО РАН (номер гос. регистрации — 122011400384-2).


Список литературы

- [1] Феклистов П.А., Соболев А.Н. Лесные насаждения Соловецкого архипелага (структура, состояние, рост). Архангельск: Изд-во Северного (Арктического) федерального ун-та, 2010. 201 с.
- [2] Соболев А.Н., Феклистов П.А. Продолжительность жизни и биометрические параметры хвои в сосняке черничном (о-в Б. Соловецкий) // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия: Естественные науки, 2016. № 4. С. 47–56. DOI:10.17238/issn 2227-6572.2016.4.47
- [3] Анучин Н.П. Лесная таксация. М.: Лесная пром-сть, 1982. 552 с.
- [4] Гусев И.И., Калинин В.И. Лесная таксация: учеб. пособие к проведению полевой практики. Л.: Изд-во ЛТА, 1988. 61 с.
- [5] Сукачев В.Н., Дылис Н.В. Программа и методика биогеоэкологических исследований. М.: Наука, 1966. 332 с.
- [6] Сукачев В.Н., Зонн С.В. Методические указания к изучению типов леса. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 144 с.
- [7] ГОСТ 16128–70. Площади пробные лесоустroительные. Метод закладки. М.: Издательство стандартов, 1971. 23 с.
- [8] ОСТ 56–69–83. Площади пробные лесоустroительные. Метод закладки. Введ. 01-01-84. М.: Изд-во ЦБНТИ Гослесхоза СССР, 1984. 60 с.
- [9] Гусев И.И. Таксация древостоя. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2000. С. 13.
- [10] Родин А.Р., Мерзленко М.Д. Методические рекомендации по изучению лесных культур старших возрастов. М.: Изд-во Всесоюзной академии сельскохозяйственных наук имени Ленина, 1983. 36 с.
- [11] Базилевич Н.И., Титлянова А.А., Смирнов В.В., Родин Л.Е., Нечаева Н.Т., Левин Ф.И. Методы изучения биологического круговорота в различных природных зонах. М.: Мысль, 1978. 184 с.
- [12] Феклистов П.А., Евдокимов В.Н., Барзут В.М. Биологические и экологические особенности роста сосны в северной подзоне европейской тайги. Архангельск: Изд-во ИПЦ АГТУ, 1997. 140 с.
- [13] Надуткин В.Д., Модянов А.Н. Наземная фитомасса древесных растений в сосняках зеленомошных // Вопросы экологии сосняков Севера: тр. Коми фил. АН СССР, 1972. № 24. С. 70–80.
- [14] Барабин А.И. Закономерности семеношения ели на европейском севере и основы лесосеменного прогнозирования: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук, 06.03.01 Лесные культуры, селекция, семеноводство и озеленение городов. М.: 35 с.
- [15] Басов В.А. Семеношение хвойных как основа устойчивости таежных экосистем // Информационный листок Коми межотраслевой территориальный центр научно-технической информации и пропаганды, № 100-85. Сыктывкар, 1985. 5 с.
- [16] Тишин Д.В. Влияние природно-климатических факторов на радиальный прирост основных видов деревьев Среднего Поволжья: автореф. дис. ... канд. биол. наук, 03.00.16. Экология, Казань, 2006. 20 с.
- [17] Hustich J. The The scotch pine in northernmost Finland and its dependence on the climate in the last decades // Acta botanica Fennica 42, 1948, 287 p.
- [18] Лир Х., Польштер Г., Фидлер Г.-И. Физиология древесных растений. М.: Лесная пром-сть, 1974. 425 с.
- [19] Бобкова К.С., Галенко Э.П. Сезонный и годичный прирост северотаежных лесов // Дендроклиматические исследования в СССР: тез. докл. III Всес. конф. по дендроклиматологии. Архангельск, 1978. С. 81–83.
- [20] Бобкова К.С., Патов А.И. Сезонная динамика роста побегов и корней // Эколого-биологические основы повышения продуктивности таежных лесов Европейского Севера. Л.: Наука, 1981. С. 93–103
- [21] Эколого-физиологические основы продукционного процесса хвойных фитоценозов на Севере. Сыктывкар: Изд-во Коми научного центра УрО АН СССР, 1989. Вып. 213. 28 с.

- [22] Булыгин Н.Е. Дендрология. Л.: Агропромиздат, 1991. 352 с.
- [23] 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 ГТУ, 2008. 118 с.
- [24] Казимиров Н.И., Волков А.Д., Зябченко С.С., Иванчиков А.А., Морозова Р.М. Обмен веществ и энергии в сосновых лесах Европейского Севера. Л.: Наука, 1977. 304 с.
- [25] Бобкова К.С. Экологические основы продуктивности хвойных лесов Европейского Северо-Востока: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Красноярск, 1990. 35 с.

Сведения об авторах

Соболев Александр Николаевич — канд. с.-х. наук, ст. науч. сотр., ФГБУК «Соловецкий государственный историко-архитектурный и природный музей-заповедник», alex-sobol@mail.ru

Феклистов Павел Александрович  — д-р с.-х. наук, профессор, ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова» УрО РАН, pfeklistov@yandex.ru

Грязькин Анатолий Васильевич — д-р с.-х. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова», lesovod@bk.ru

Гаврилова Ольга Ивановна — д-р с.-х. наук, профессор кафедры технологии и организации лесного комплекса, ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет», ogavril@mail.ru

Поступила в редакцию 26.12.2022.

Одобрено после рецензирования 18.07.2023.

Принята к публикации 04.09.2023.

ASSIMILATION APPARATUS PECULIARITIES OF ISOLATED PINE POPULATIONS (BOLSHOY SOLOVETSKY ISLAND)

A.N. Sobolev¹, P.A. Feklistov² , A.V. Gryazkin³, O.I. Gavrilova⁴

¹Solovetsky Museum Reserve, 163000, pos. Solovetsky, Primorsky District, Arkhangelsk reg., Russia

²FECIAR RAS, 20, Nikolsky av., 163020, Arkhangelsk reg., Arkhangelsk, Russia

³Saint-Petersburg State Forestry University named after S.M. Kirov, 5, letter U, Institutsky lane, 194021, St. Petersburg

⁴Petrozavodsk State University, 33, Lenin av., Petrozavodsk, Republic of Karelia, Russia

pfeklistov@yandex.ru

The study results of the assimilation apparatus in the populations of Scots pine (*Pinus sylvestris*) and Shore pine (*Pinus contorta*) isolated from the mainland on the Bolshoy Solovetsky Island are presented. Three sites of bilberry pine forest of natural origin, Shore pine and Scots pine in bilberry habitat conditions are presented. Scots pine needle parameters were determined in the pine forest of natural origin and in the cultures of Shore pine. It was revealed that the parameters of the average needle in the natural pine forest and in cultures (Scots pine) are quite similar. The mass of the average needle, width and thickness do not really differ, but only the length and area differ. The mass of needles per branch is also not reliably different. It was revealed that the mass of needles on the branch is 169...181 g, the mass of average needles 14...15 mg, the length totals to 28 and 36 mm in cultures. At the same time, all the parameters are significantly lower than those of pine on the mainland (Primorsky district of the Arkhangelsk region). It was found that the parameters of Shore pine needles in cultures are higher than those of Scots pine in cultures by about 1.5–2 times. The life expectancy of the needles of the Scots pine (determined by weight) is 7 years in natural pine forests and 5 years in cultures. It was revealed that the most significant role is played by needles up to 4 years in the Scots pine and up to 5 years in the Shore pine. It is shown that the length of needles formed in different calendar years differs markedly. It is established that three-year cyclicality is traced in the dynamics of needle length. It was determined that the needle length of the current year is influenced by its size of the previous year. It was revealed that in the studied conditions the position in the crown does not affect the parameters of needles, i. e. the part of the crown (upper, middle, lower) has no influence.

Keywords: needles, life expectancy, weight, size, part of the crown, blueberry pine trees

Suggested citation: Sobolev A.N., Feklistov P.A., Gryaz'kin A.V., Gavrilova O.I. *Osobennosti assilyatsionnogo apparata izolirovannykh populyatsiy sosny (Bol'shoj Solovetskiy ostrov)* [Assimilation apparatus peculiarities of isolated pine populations (Bolshoy Solovetsky island)]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2023, vol. 27, no. 5, pp. 74–81. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-5-74-81

References

- [1] Feklistov P.A., Sobolev A.N. *Lesnye nasazhdeniya Solovetskogo arkhipelaga (struktura, sostoyanie, rost)* [Forest plantations of the Solovetsky archipelago (structure, state, growth)]. Arkhangelsk: Northern (Arctic) Federal University, 2010, 201 p.
- [2] Sobolev A.N., Feklistov P.A. *Prodolzhitel'nost' zhizni i biometricheskie parametry khvoi v sosnyake chernichnom (o-v B. Solovetskiiy)* [Life expectancy and biometric parameters of needles in blueberry pine forest (B. Solovetsky Island)]. Vestnik Sev. (Arktich.) feder. un-ta. Ser.: Estestv. nauki [Vestnik Sev. (Arctic) feder. university Ser.: Natural. Nauki], 2016, no. 4, pp. 47–56. DOI:10.17238/issn 2227-6572.2016.4.47
- [3] Anuchin N.P. *Lesnaya taksatsiya* [Forest taxation]. Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1982, 552 p.
- [4] Gusev I.I., Kalinin V.I. *Lesnaya taksatsiya: uchebnoe posobie k provedeniyu polevoy praktiki* [Forest inventory: a textbook for field practice]. Leningrad: LTA, 1988, 61 p.
- [5] Sukachev V.N., Dylis N.V. *Programma i metodika biogeotsenologicheskikh issledovaniy* [Program and methodology of biogeocenological research]. Moscow: Nauka, 1966, 332 p.
- [6] Sukachev V.N., Zonn S.V. *Metodicheskie ukazaniya k izucheniyu tipov lesa* [Guidelines for the study of forest types]. Moscow: AN SSSR, 1961, 144 p.
- [7] GOST 16128–70 *Ploshchadi probnye lesoustroitel'nye. Metod zakladki* [Trial forest inventory areas. bookmark method]. Moscow: Publishing house of standards, 1971, 23 p.
- [8] OST 56–69–83 *Ploshchadi probnye lesoustroitel'nye. Metod zakladki. Vved. 01-01-84* [Trial forest inventory areas. bookmark method. Introduction 01-01-84]. Moscow: TsBNTI Gosleskhoz USSR, 1984, 60 p.
- [9] Gusev I.I. *Taksatsiya drevostoya* [Forest inventory]. Arkhangelsk: Publishing House of ASTU, 2000, p. 13.
- [10] Rodin A.R., Merzlenko M.D. *Metodicheskie rekomendatsii po izucheniyu lesnykh kul'tur starshikh vozrastov* [Methodological recommendations for the study of forest cultures of older ages]. Moscow: Vsesoyuznaya akademiya sel'skokhozyaystvennykh nauk imeni Lenina [All-Union Academy of Agricultural Sciences named after Lenin], 1983, 36 p.
- [11] Bazilevich N.I., Titlyanova A.A., Smirnov V.V., Rodin L.E., Nechaeva N.T., Levin F.I. *Metody izucheniya biologicheskogo krugovorota v razlichnykh prirodnykh zonakh* [Methods for studying the biological cycle in various natural zones]. Moscow: Mysl' [Thought], 1978, 184 p.
- [12] 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: IPTs AGTU, 1997, 140 p.
- [13] Nadutkin V.D., Modyanov A.N. *Nazemnaya fitomassa drevesnykh rasteniy v sosnyakakh zelenomoshnykh* [Terrestrial phytomass of woody plants in green moss pine forests]. Voprosy ekologii sosnyakov Severa: tr. Komi fil. AN SSSR [Problems of ecology of pine forests of the North: tr. Komi Phil. AN SSSR], 1972, no. 24, pp. 70–80.
- [14] Barabin A.I. *Zakonomernosti semenosheniya eli na evropeyskom severe i osnovy lesosemennogo prognozirovaniya* [Patterns of spruce seed production in the European north and the foundations of forest seed forecasting: abstract of the thesis]. Dis. Dr. Sci. (Agric.), 06.03.01 Forest crops, selection, seed production and urban greening. Moscow, 35 p.
- [15] Basov V.A. *Semenoshenie khvoynykh kak osnova ustoychivosti taezhnykh ekosistem* [Seed production of conifers as a basis for the sustainability of taiga ecosystems]. Informatsionnyy listok Komi mezhotraslevoy territorial'noy tsent nauchno-tekhnicheskoy informatsii i propagandy [Information sheet of the Komi Intersectoral Territorial Center for Scientific and Technical Information and Propaganda], Syktyvkar, 1985, no. 100–85, 5 p.
- [16] Tishin D.V. *Vliyaniye prirodno-klimaticheskikh faktorov na radial'nyy prirost osnovnykh vidov derev'ev Srednego Povolzh'ya* [Influence of natural and climatic factors on the radial growth of the main types of trees in the Middle Volga region]. Dis. Cand. Sci. (Biol.), 03.00.16. Ecology, Kazan, 2006, 20 p.
- [17] Hustich J. The scotch pine in northernmost Finland and its dependence on the climate in the last decades. Acta botanica Fennica 42, 1948, 287 p.
- [18] Lear H., Polter G., Fidler G.-I. *Fiziologiya drevesnykh rasteniy* [Physiology of woody plants]. Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1974, 425 p.
- [19] Bobkova K.S., Galenko E.P. *Sezonnyy i godichnyy prirost severotaezhnykh lesov* [Seasonal and annual growth of northern taiga forests]. [Dendroclimatic research in the USSR]. Dendroklimaticheskie issledovaniya v SSSR: tez. dokl. III Vsesoyuzn konf. po dendroklimatologii [Abstracts. report III All-Union Conf. in dendroclimatology]. Arkhangelsk, 1978, pp. 81–83.
- [20] Bobkova K.S., Patov A.I. *Sezonnaya dinamika rosta pobegov i korney* [Seasonal dynamics of growth of shoots and roots]. Ekologo-biologicheskie osnovy povysheniya produktivnosti taezhnykh lesov Evropeyskogo Severa [Ecological and biological bases for increasing the productivity of taiga forests of the European North]. Leningrad: Nauka, 1981, pp. 93–103.
- [21] *Ekologo-fiziologicheskie osnovy produktsionnogo protsessa khvoynykh fitotsenozov na Severe* [Ecological and physiological foundations of the production process of coniferous phytocenoses in the North]. Syktyvkar: Komi nauchnyy tsentr UrO AN SSSR [Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Academy of Sciences of the USSR], 1989, iss. 213, 28 p.
- [22] Bulygin N.E. *Dendrologiya* [Dendrology]. Leningrad: Agropromizdat, 1991, 352 p.
- [23] Feklistov P.A., Biryukov S.Yu., Fedyayev A.L. *Sravnitel'nye ekologo-biologicheskie osobennosti sosny skruchennoy i obyknovennoy v severnoy podzone evropeyskoy taygi* [Comparative ecological and biological features of lodgepole and Scotch pine in the northern subzone of the European taiga]. Arkhangelsk: Arkhangelsk GTU, 2008, 118 p.
- [24] Kazimirov N.I., Volkov A.D., Zyabchenko S.S., Ivanchikov A.A., Morozova R.M. *Obmen veshchestv i energii v sosnyykh lesakh Evropeyskogo Severa* [Metabolism and energy in the pine forests of the European North]. Leningrad: Nauka, 1977, 304 p.
- [25] Bobkova K.S. *Ekologicheskie osnovy produktivnosti khvoynykh lesov Evropeyskogo severo-vostoka* [Ecological foundations of the productivity of coniferous forests of the European North-East]. Dis. Dr. Sci. (Biol.). Krasnoyarsk: IL and D. SO AN USSR, 1990, 35 p.

The research was carried out under the state assignment 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 (state registration number — 122011400384-2).

Authors' information

Sobolev Aleksandr Nikolaevich — Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher of the Solovetsky Museum of the Reserve, alex-sobol@mail.ru

Feklistov Pavel Aleksandrovich [✉] — Dr. Sci. (Agriculture), Professor, Federal Research Center for the Comprehensive Study of the Arctic named after Academician N.P. Laverov, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, pfeklistov@yandex.ru

Gryaz'kin Anatoliy Vasil'evich — Dr. Sci. (Agriculture), Professor, Saint-Petersburg State Forest Technical University, lesovod@bk.ru

Gavrilova Ol'ga Ivanovna — Dr. Sci. (Agriculture), Professor of the Department of Technology and Organization of the Forestry Complex of PetrSU, ogavril@mail.ru

Received 26.12.2022.

Approved after review 18.07.2023.

Accepted for publication 04.09.2023.

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 ТАКСАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАСАЖДЕНИЙ НА ЦВЕТЕНИЕ ЛИПНЯКОВ В УДМУРТСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ

М.В. Якимов, Р.Р. Абсалямов[✉], В.Ю. Якимова

ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный аграрный университет», Россия, 426069, Удмуртская Республика, г. Ижевск, ул. Студенческая, д. 11

lesovod27@yandex.ru

Приведены результаты исследования балла цветения липовых насаждений. Для исследования применялись методы эксперимента, наблюдений и лесоводственно-таксационные приемы. Были заложены круговые пробные площади постоянного радиуса для изучения таксационных показателей липовых насаждений и для определения балла цветения липы. Пробные площади заложены в радиусе трех километров от расположенных пасек, так как активный лет медоносных пчел составляет приблизительно это расстояние от расположенных ульев. Пробные площади заложены в соответствии с ОСТ 56-69–83 «Площади пробные лесоустroительные. Метод закладки». Изучен состав насаждений вокруг двух стационарных и двух перевозных пасек. Определены баллы цветения липовых насаждений. Результаты исследований представляют практический интерес главным образом для пчеловодов. Материалы научного исследования используются в учебном процессе при подготовке обучающихся по направлению «Лесное дело». Максимальный балл цветения наблюдается в низкополнотных (0,4...0,5) спелых и перестойных насаждениях с преобладанием липы мелколистной в составе. Именно такая полнота древостоя позволяет увеличивать ширину и протяженность кроны, способствуя тем самым увеличению количества цветков и соответственно балла цветения липы.

Ключевые слова: липовые насаждения, опытные пасеки, учетный период, таксационные показатели, балл цветения

Ссылка для цитирования: Якимов М.В., Абсалямов Р.Р., Якимова В.Ю. Влияние таксационных показателей насаждений на цветение липняков в Удмуртской Республике // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 5. С. 82–91. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-5-82-91

Среди множества видов использования лесов, одно из ведущих мест занимает ведение сельского хозяйства. Пчеловодство является одной из составляющих отраслей в направлении сельского хозяйства в Удмуртской Республике. Оно играет важную роль для сельского хозяйства и обретает большую роль при использовании лесов.

В Удмуртской Республике возможно развитие промышленного пчеловодства, так как тут произрастают медоносные травы (донник, кипрей, фацелия, синяк) и медоносные деревья (ивовые, липа мелколистная, клен остролистный), имеется законодательная база, поэтому пчеловодство является перспективной отраслью. По мнению И.Д. Самсоновой, только при постоянной и высокой медопродуктивной базе возможно благополучное развитие пчеловодства, при котором возможно увеличение числа пчелиных семей и соответственно количество пасек [1], но при сборе больших объемов меда, возникает трудности с его сбытом [2].

С течением времени протекают естественные процессы и медоносная база изменяется. Иногда в лучшую сторону, например зарастание полей ивой, липой. Но в большинстве случаев медоносный потенциал лесов уменьшается, так

как хвойные породы заглушают лиственные. Поэтому необходимо изучать экосистему и ее биоразнообразие для сохранения и повышения нектаропродуктивности насаждений [3–6]. В Удмуртской Республике растения — медоносы составляют основу для развития пчелиных семей начиная с весеннего периода и наращивая основную силу к главному медоносу — липе мелколистной [7].

Липа часто встречается в зонах отдыха, лесопарках, вдоль дорог [8]. Так как липа хорошо переносит загрязнения атмосферы углекислым газом, ее часто используют в озеленении населенных пунктов, в зеленых зонах, в ландшафтной архитектуре.

Максимальный возраст липы замечен в 350...500 лет, но в основном данные деревья растут до 150 лет. Во время цветения липа выделяет обильное количество нектара и своим ароматом приманивает насекомых, в том числе и медоносных пчел. В липовом меде содержатся множество химических элементов (36,5 % глюкозы, 39,3 % левулезы [фруктозы]) [9].

Существует мнение, что чистого липового меда не бывает, но если пасеку расположить в лесном массиве, где преобладает липа мелколистная, то возможно получить липовый мед на 80 и более процентов.

В дневное время во время работы пчел можно заметить грязновато-желто-зеленоватую пыльцу, а в вечернее время во время вентиляции, выпаривания влаги, можно почувствовать приятный аромат липового нектара. Это все свидетельствует о сборе липового меда [10].

Настоящий мед, собранный с липы, бывает светлого цвета с приятным липовым ароматом. При кристаллизации приобретает белый цвет. Структура зависит от состава меда. В натуральном виде, в сотах, мед сохраняет дольше полезные свойства. Липовый мед особенно ценится при простудных заболеваниях, из-за множества витаминов.

На медоносный период влияют различные факторы [11–13]: климатические, природные. Цветение липы наблюдается в конце июня и начале июля [14]. При сухой погоде, без осадков срок цветения сокращается до 5–7 сут, а при достаточном количестве влаги, дождей — период цветения липы может увеличиться до 2,5 недель. Так же на период цветения липы влияет возраст деревьев, молодые зацветают позже, чем спелые и перестойные.

На открытых местах и с солнечной стороны деревья зацветают раньше и выделяют нектар больше, чем в затененных участках. Так же на обилие цветения влияют влажность почвы и относительная влажность воздуха [13]. В составе липового нектара содержится большее количество лейцина, а наименьшее — гистидина. Для опыляющих насекомых аминокислотный состав нектара является необходимым источником азота [15].

Одно дерево липы мелколистной в среднем дает 3–4 кг нектара. При правильной форме и обилии цветков возможно собрать до 10 кг нектара с одного дерева. Липовые насаждения на площади 1 га могут дать до 1 т нектара [16].

Необходимо создавать и формировать насаждения из липы вокруг пасек [17]. Ход роста по высоте и диаметру липы в древостое, в составе которого присутствует ель и пихта (состав древостоя 7Лп3Е+П) существенно отличается от биометрических показателей липы, произрастающей в насаждении с кленом (состав древостоя 8Лп2Кл). Диаметр ствола липы, произрастающей в окружении ели в возрасте 35 лет, составляет 16,0 см, тогда как этот показатель при смешении с кленом меньше на 15 % и равен 13,6 см. Промежуточное положение по показателям роста занимает липа, сопутствующими породами которой являются береза, пихта и ель (состав древостоя 5Лп2Б2П1Е).

Хвойные и лиственные породы неодинаково влияют на рост и производительность липняков. Липняки с примесью ели значительно превосходят по запасу чистые и липовые насаждения

с примесью лиственных пород, таксационные показатели таких насаждений также выше [18]. Сходные результаты зависимости роста липы по высоте и диаметру ствола липы от состава древостоя выявлены С.Н. Козьяковым [19] для липовых насаждений Южной части Урала. В условиях Дальнего Востока средний показатель медопродуктивности липняков в хвойно-широколиственных лесах почти в два раза выше, чем в широколиственных [20]. Полученные данные подтверждают целесообразность формирования, а также возможное создание искусственных липово-еловых насаждений [18]. Однако в условиях центра Восточно-Европейской равнины произрастают и чистые по составу высокопроизводительные липняки [21].

В Удмуртской Республике липу мелколистную можно встретить во всех районах. Но в северной части липа встречается реже, и доля участия в составе минимальная. Наибольшие территории лесов с липовыми насаждениями находятся в южной части республики — в Завьяловском и Кизнерском лесничествах [22].

Липовые насаждения среднего возраста занимают около 40 тыс. га, спелые и перестойные — 20 тыс. га, средний возраст составляет — 47 лет [23]. На исследуемой площади относительная полнота насаждений липы различная: полнотой 0,8 и более составляют 57,6 га, или 20 %, 0,5...0,7 произрастают на 135 га. (46,9 %). Преобладают липовые насаждения полнотой 0,6...0,7 [24]. При данной относительной полноте наблюдается наиболее обильное цветение липы мелколистной [25].

Эффект липовых насаждений оправдывает себя при любых экономических затратах, а именно на арендную плату за участок леса, поездки до пасеки, перевозку пчел, ущерб от медведей [26, 27].

Цель работы

Цель работы — определение основных таксационных показателей лесных насаждений и выявить их влияние на цветение липы мелколистной.

Материалы и методы

Исследования проводились в Нылгинском участковом лесничестве Увинского лесничества и Пычасском участковом лесничестве Можгинского лесничества Удмуртской Республики.

Данные для расчетов были выбраны из таксационных описаний, лесохозяйственных регламентов, экспедиционных выездов в полевых сезонах 2017–2021 гг. [28, 29].

Поскольку следует изучить цветение липы, на конкретных участках места закладки пробных площадей подбирались в наиболее характерных условиях.

Методика полевых работ заключалась в следующем: для каждого лесничества по лесоустроительным материалам выявлялось распределение площадей с преобладанием липы мелколистной по группам возраста, относительной полноте и составу древостоев. Учеты проведены в древостоях липы различных групп возраста.

Пробные площади заложены в соответствии с ОСТ 56-69-83 «Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки» [30]. Размеры площадок устанавливали для древостоев с оптимальной полнотой 0,7 и выше — 400 м² (радиус пробных площадей 11,28 м) и для древостоев с полнотой менее 0,7 — 600 м² (радиус пробных площадей 13,82 м). Пробные площади закладывали в радиусе 3 км от расположенных пасек, так как активный лет медоносных пчел составляет именно приблизительно данное расстояние от ульев [28, 29].

Устанавливали все основные таксационные показатели насаждения (порода, высота, диаметр, возраст, относительная полнота). Для каждой группы возраста определен балл цветения липы мелколистной как для насаждения, так и для отдельных деревьев.

Для изучения цветения липы мелколистной применялась 5-балльная шкала В.Г. Каппера [31]:

0 баллов — нет цветков;

1 балл — плохое цветение (слабое цветение на единично стоящих деревьях и опушках);

2 балла — среднее цветение (цветение только на опушках и единично стоящих деревьях);

3 балла — хорошее цветение (цветение деревьев в насаждениях, на отдельно стоящих деревьях и на опушках);

4 балла — очень хорошее цветение (обильное цветение в насаждениях, на свободно стоящих деревьях и на опушках).

И.А. Ибрагимовым и М.Э. Муратовым [32] предложена иная шкала визуальной оценки степени цветения отдельных деревьев:

0 — полное отсутствие цветков;

1 — имеются в верхней четверти кроны;

2 — в верхней половине кроны;

3 — в трех четвертях кроны;

4 — цветки имеются во всей кроне.

Деревья учитывались путем измерения диаметров их стволов на высоте 1,3 м от корневой шейки по элементам леса в пределах каждого яруса по ступеням толщины.

Результаты и обсуждение

В проведенных исследованиях основное внимание было уделено количеству площадей липняков на припасечных участках с учетом их группы возраста (молодняки, средневозрастные, приспевающие, спелые и перестойные) и тех категорий лесных площадей, которые имеются

в доступной для пчел зоне (активный лет пчел радиусом 3 км) [33].

Опытная пасека № 2 (табл. 1) расположена в Нылгинском участковом лесничестве (квартал 186) Увинского лесничества Удмуртской Республики. Пасека перевозного типа, расположена на ровном сухом месте. Пчеловод Якимов Н.Н., стаж работы 48 лет. Численность — 60 пчелосемей. Пчелосемьи вывозятся за 10 дней до зацветания липы мелколистной, чтобы пчелы адаптировались к условиям месторасположения, успели облетаться. Пчелосемьи вывозятся на заранее подготовленное место, где рядом с пасекой произрастают разновозрастные липовые насаждения.

Общая площадь липовых насаждений составила 75,9 га. Во всех группах возрастов, кроме молодняков, наблюдается обильное цветение липы мелколистной. Наибольшая ширина и протяженность кроны в перестойных насаждениях отмечается при полноте 0,5. Наибольший балл цветения наблюдается при относительной полноте 0,5. Во всех группах возрастов, кроме молодняков в составе, преобладает липа мелколистная. Господствуют средневозрастные и спелые насаждения.

Опытная пасека № 3 (табл. 2) расположена в Нылгинском участковом лесничестве (квартал 185) Увинского лесничества, вблизи с границей Можгинского лесничества Удмуртской Республики. Пасека стационарного типа, 65 пчелосемей, расположена на ровном месте, рядом протекает ручей. Пчеловод Якимов В.Н., стаж работы 50 лет. Около пасеки выделены особо защитные участки — «Липа медоносная», квартал 185, выдел 26, площадью 11 га.

Насаждения представлены в основном липой мелколистной. Средний возраст 70 лет при относительной полноте 0,6. В молодняках цветение липы наблюдается очень редко. Обильное цветение липы наблюдается в спелых и перестойных лесных насаждениях при полноте 0,5.

Опытная пасека № 4 (табл. 3) расположена в Нылгинском участковом лесничестве (квартал 184) Увинского лесничества, вблизи с границей Можгинского лесничества. Пасека стационарного типа, расположена на ровном, сухом месте, 75 пчелосемей. Пчеловод — Степанов Н.Н., стаж работы 47 лет. Около пасеки выделены особо защитные участки — «Липа медоносная», квартал 184, выделы 9, 11–13, общей площадью 32,6 га.

Максимальный балл цветения наблюдается при относительной полноте 0,4 и 0,5 в группах возраста спелые и перестойные. В молодняках наименьший балл цветения, цветут только единичные экземпляры деревьев липы мелколистной. Максимальная ширина и длина кроны липы мелколистной наблюдается при полноте 0,4...0,5.

Т а б л и ц а 1

Таксационные показатели липовых насаждений (тип леса ЕЛП) вокруг опытной пасеки № 2**Taxation indices of linden plantations (EFP forest type) around experimental apiary No. 2**

Квартал/ выдел	Состав	Диаметр, см	Высота, м	Возраст, лет	Полнота	Балл цветения	Ширина/ протяженность кроны, м
Молодняки							
186/3	6Е4Лп+Б+Е	10	10	20	0,8	1	2,2/4
Средневозрастные							
2/9	6Е4Лп+Б+Кло	16	16	30	0,8	1	4,8/8,2
186/5	6Лп2Е2В	16	18	40	0,5	4	5,6/11
Приспевающие							
186/11	6Лп2Е2В	18	19	50	0,5	4	6,1/12,3
Спелые							
186/3	6Лп3Е1Б	24	23	70	0,5	4	7,3/18,6
186/25	6Лп3Е1В	24	20	65	0,6	4	6,4/14,8
Перестойные							
186/22	4Лп3Е2П1Б	32	24	90	0,5	5	8,3/18,2
186/25	6Лп4Е	32	25	90	0,6	4	7,9/19,6

Т а б л и ц а 2

Таксационные показатели липовых насаждений (тип леса ЕЛП) вокруг опытной пасеки № 3**Taxation indices of linden plantations (EFP forest type) around experimental apiary No. 3**

Квартал/ выдел	Состав	Диаметр, см	Высота, м	Возраст, лет	Полнота	Балл цветения	Ширина/ протяженность кроны, м
Молодняки							
13/7	6Лп3Б	8	12	20	0,8	1	3,2/9,6
Средневозрастные							
185/1	4Лп2Е2Б2Ос	12	14	35	0,6	4	3,8/6,4
13/16	5Лп3Е2Б	15	19	30	0,8	3	3,6/14,6
Приспевающие							
13/2	8Лп2Е+Б	19	27	60	0,7	4	7,3/20,6
13/19	5Лп3Е2Ос+С	23	23	45	0,8	3	6,2/16,3
Спелые							
185/4	4Лп3Е3Б+Ос	30	25	70	0,6	4	8,6/18,8
185/11	4Лп2Е2Ос2Б	32	27	70	0,5	5	8,8/20,5
Перестойные							
185/12	5Лп2Е2Ос1Б	40	25	85	0,5	5	9,2/21,3
185/26	3Лп3В2Кл2Е	38	24	90	0,5	5	9,0/18,8

Опытная пасека № 5 (табл. 4) расположена в Пычасском участковом лесничестве (квартал 34) Можгинского лесничества. Пасека перевозного типа. Расположена на ровном, сухом месте, 50 пчелосемей. Пчеловод Якимов П.Б., стаж работы 40 лет. Пчелосемьи вывозятся за 10 дней до зацветания липы мелколистной, чтобы пчелы адаптировались к условиям месторасположения, успели облетаться. Пчелосемьи вывозятся на заранее подготовленное место, где рядом с пасекой расположены разновозрастные липовые насаждения.

Во всех выделах насаждений преобладает липа мелколистая. Средний возраст насаждений 60 лет, такая же возрастная структура характерна для липняков Республики Башкортостан [34]. В молодняках наблюдается интенсивное цветение липы. Данные насаждения произрастают вокруг сельскохозяйственных полей и на старых вырубках. Максимальный балл цветения отмечается при полноте 0,5. Наибольшие проекции кроны в приспевающих лесных насаждениях установлены при полноте 0,5 и в перестойных насаждениях с полнотой 0,6.

Т а б л и ц а 3

Таксационные показатели липовых насаждений (тип леса ЕЛП) вокруг опытной пасеки № 4

Taxation indices of linden plantations (EFP forest type) around experimental apiary No. 4

Квартал/ выдел	Состав	Диаметр, см	Высота, м	Возраст, лет	Полнота	Балл цветения	Ширина/ протяженность кроны, м
Молодняки							
184/4	4Лп4Б2Е	8	10	20	0,7	1	3,0/7,6
Средневозрастные							
21/12	6Лп2Е2Б	14	15	30	0,7	3	4,6/11,3
184/20	6Лп3Е1Ос+Лп	12	21	30	1	3	3,8/13,7
Приспевающие							
21/3	8Лп2Ос+Е+Б	22	23	45	0,6	4	8,2/17,0
21/13	7Лп3Е+Б	23	24	60	0,7	3	6,6/16,2
Спелые							
184/8	5Лп4Е1Б+Ос	31	22	70	0,4	5	9,3/18,6
184/9	3Лп2В2Кл2Е1П	34	24	70	0,5	5	8,8/19,3
Перестойные							
184/1	4Лп3Е1Б1Ос	41	25	85	0,5	5	8,9/21
184/17	5Лп2Е2Б1Ос	36	23	90	0,4	5	9,2/18,8

Т а б л и ц а 4

Таксационные показатели липовых насаждений (тип леса ЕЛП) вокруг опытной пасеки № 5

Taxation indices of linden plantations (EFP forest type) around experimental apiary No. 5

Квартал/ выдел	Состав	Диаметр, см	Высота, м	Возраст, лет	Полнота	Балл цветения	Ширина/ протяженность кроны, м
Молодняки							
34/9	6ЛП4Е	12	16	20	0,6	3	3,8/9,9
Средневозрастные							
34/8	5ЛП4Е1Б	16	19	40	0,7	3	4,8/15,4
35/12	7ЛП2Е1Ос+Б	16	16	30	0,8	2	4,2/11,4
Приспевающие							
34/7	5Лп5Е	22	23	50	0,5	5	6,7/16,8
35/16	6Лп3Е1Ос+Б	24	24	50	0,8	4	6,2/15,3
36/15	5Лп5Б+Е	24	23	45	0,8	4	7,0/17,0
Спелые							
34, 35/8	5Б3ЛП2Е	23	23	65	0,8	3	6,4/17,2
35/10, 13, 14, 15	5Б4ЛП1Е	23	23	65	1,0	3	6,4/18,7
Перестойные							
37/1	5Е3Лп2Ос+С	32	28	85	0,8	3	8,6/18,3
37/3	5Е3Лп1Б1В	34	32	85	0,8	3	5,6/18,7

Для выявления зависимостей балла цветения от возраста насаждений, ширины кроны, протяженности кроны, относительной полноты, была проведена статистическая обработка собранного материала (рис. 1–4):

– зависимость балла цветения от возраста насаждения значительная, с увеличением возраста липовых насаждений увеличивается балл цветения липы (см. рис. 1);

– зависимость балла цветения от ширины кроны высокая (см. рис. 2);

– зависимость балла цветения от протяженности кроны значительная (см. рис. 3);

– зависимость балла цветения от относительной полноты умеренная (см. рис. 4).

Самое обильное цветение липы установлено в группе возраста перестойные при относительной полноте липовых насаждений 0,5. Очень хорошее

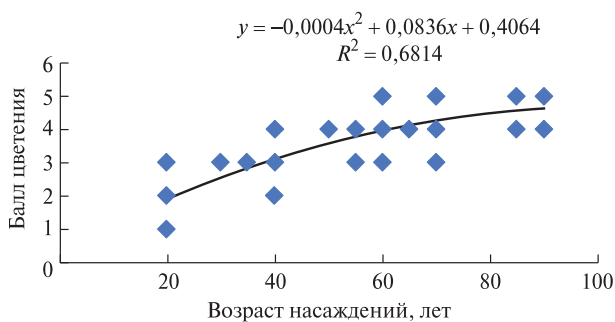


Рис. 1. Зависимость балла цветения от возраста насаждения
Fig. 1. Dependence of flowering index on the age of the plantation

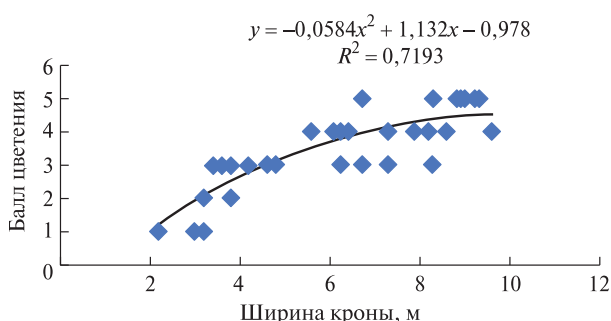


Рис. 2. Зависимость балла цветения от ширины кроны
Fig. 2. Dependence of flowering index on crown width

цветение (обильное цветение в насаждениях, на свободно стоящих деревьях и на опушках). Обильное цветение липы наблюдается с солнечной стороны.

Выводы

Средний балл цветения липы мелколистной при полноте 0,4...0,5 составляет 4,75 балла, при полноте 0,6...0,7 средний балл цветения липы 3,3, при полноте 0,8...1 средний балл 1,4. Максимальный балл цветения наблюдается при относительной полноте насаждений 0,4...0,5 (низкополнотные) с преобладанием в составе насаждений липы мелколистной групп возраста спелые и перестойные.

Для повышения доступности кормовых ресурсов в радиусе 3-километровой зоны вокруг стационарных пазек необходим поиск дополнительных природных ресурсов пчеловодческой отрасли, в том числе путем увеличения доли липы в составе припасечных древостоев и повышения их медоносной продуктивности [35].

По результатам исследований необходимо рекомендовать снижение относительной полноты насаждений до 0,5, 0,4, что приведет к увеличению размеров ширины и протяженности кроны, и соответственно количества цветков и балла цветения.

Список литературы

[1] Самсонова И.Д., Сидаренко П.В. Ресурсный потенциал лесных полос агроландшафтов степного Придонья // Известия Оренбургского государственного аграрного университета, 2022. № 1 (93). С. 59–65.

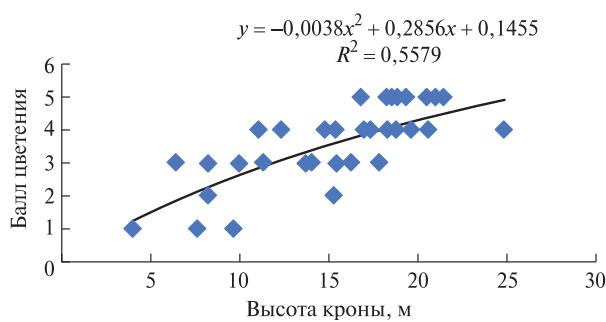


Рис. 3. Зависимость балла цветения от протяженности кроны
Fig. 3. Dependence of flowering index on crown length

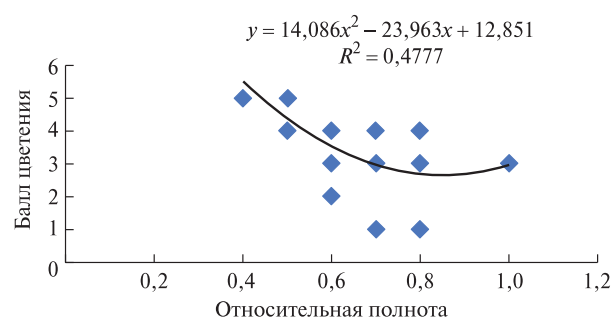


Рис. 4. Зависимость балла цветения от относительной полноты
Fig. 4. Dependence of flowering index on relative density

- [2] Якимов М.В., Бусоргина Н.А. Использование лесов для ведения сельского хозяйства (пчеловодства) // Научные инновации в развитии отраслей АПК: Материалы Международ. науч.-практ. конф. Ижевск, 18–21 февраля 2020 г. В 3 т. Ижевск: Изд-во Ижевской ГСХА, 2020. С. 154–156.
- [3] Самсонова И.Д., Саттаров В.Н., Гильманова Г.Р. Медоносная ценность плодовых видов в степном Придонье // Вестник ИрГСХА, 2022. № 110. С. 33–44.
- [4] Khisamov R.R., Farkhutdinov R.G., Yumaguzhin F.G. Honey production potential and cadastral valuation of melliferous resources for the Southern Ural // J. of Engineering and Applied Sciences, 2018, t. 13, no. S5, pp. 4622–4629.
- [5] Khisamov R., Yanbaev Y., Yumaguzhin F., Farkhutdinov R., Ishbulatov M., Onuchin M., Mustafin R., Rakhmatullin Z., Talipov E. Nectariferous potential and cadastral evaluation of honey resources of the wildlife Altyin Solok Reserve created for the conservation and reproduction of the Burzian population of the *Apis Mellifera Mellifera* L. // Bulgarian J. of Agricultural Science, 2019, 25 (Suppl. 2), pp. 140–149.
- [6] Хисамова Р.Р., Мусин Х.Г., Карюгина В.Г., Фархутдинов Р.Г. Экологическая и физиолого-биохимическая характеристика популяций липы мелколистной на территории Республики Башкортостан // Biomics, 2022, т. 14(4), pp. 300–304. DOI: 10.31301/2221-6197.bmcs.2022-28
- [7] Любимов А.И., Колбина Л.М., Кислякова Е.М., Воробьева С.Л. Медовый запас лесных насаждений Удмуртской Республики // Известия Горского государственного аграрного университета, 2015. Т. 52. № 3. С. 101–104.
- [8] Золотухин А.И. Лесная растительность и эколого-биологическая характеристика наиболее распространенных растений окрестностей г. Балашова // Балашовский край: краеведческий альманах, 2001. № 1 (2). С. 49–58.
- [9] Хайретдинов А.Ф., Султанова Р.Р. Минеральный состав липового меда // Пчеловодство и апитерапия, 2004. № 3. С. 34–35.

- [10] Мурахтанов Е.С. Пчеловодство в липняках. М.: Лесная пром-сть, 1977. 104 с.
- [11] Ларионова О.С., Маннапов А.Г. Влияние микробиологического препарата апик на микробиоценоз пчел, биологические показатели и результаты зимовки // Вестник Саратовского госагроуниверситета имени Н.И. Вавилова, 2011. № 10. С. 24–28.
- [12] Легочкин О.А., Ларионова О.С., Маннапов А.Г. Организация семей-медовиков при запланированном роении пчел // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова, 2012. № 4. С. 26–29.
- [13] Мадебейкин И.Н., Мадебейкин И.И. Еще раз о липе // Пчеловодство, 2012. № 7. С. 20–21.
- [14] Мартынова М.В. Оптимизация кормовой базы пчеловодства в Республике Башкортостан // Вестник Башкирского государственного аграрного университета, 2020. № 2(54). С. 38–44.
- [15] Кайгородов Р.В., Кулешова Т.С. Видовые эколого-биохимические особенности нектара медоносных растений // Современные проблемы науки и образования, 2015. № 3. С. 586.
- [16] Серяков И.С. Пчеловодство. Племенная работа в пчеловодстве. Горки: Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2021. 60 с.
- [17] Сабирова Г.В., Габделхаков А.К., Габдрахимов К.М. Динамика таксационных показателей спелого древостоя липы мелколистной в зеленой зоне г. Уфы // Вестник Башкирского государственного аграрного университета, 2017. № 1 (41). С. 108–111.
- [18] Михайлова Н.В. Продуктивность естественных липово-еловых насаждений Предуралья // Вестник Башкирского государственного аграрного университета, 2010. № 4. С. 57–62.
- [19] Козьяков С.Н. Ход роста липняков по типам леса в Башкирской АССР // Труды Башкирского сельскохозяйственного института, 1963. Т. 11. Ч. 1. С. 64–67.
- [20] Костырина Т.В., Комин А.Э. Медопродуктивность дальневосточных лип и сравнительная оценка результатов расчета от рубки липовых насаждений и по использованию их для развития пчеловодства // Аграрный вестник Приморья, 2018. № 4(12). С. 82–86.
- [21] Мерзленко М.Д., Мельник П.Г., Сухоруков А.С. Лесоводственная экскурсия в Лосиный Остров. М.: МГУЛ, 2008. 128 с.
- [22] Якимов М.В., Абсалямов Р.Р. Анализ липняков в Удмуртской Республике // Современному АПК — эффективные технологии: Материалы Междунар. науч.-практ. конф, Ижевск, 11–14 декабря 2018 г. Ижевск: Изд-во Ижевской ГСХА, 2019. С. 345–348.
- [23] Якимов М.В., Бусоргина Н.А. Основы ведения специального хозяйства в липняках целевого лесопользования // Аграрная наука — сельскохозяйственному производству: Материалы Междунар. науч.-практ. конф, Ижевск, 12–15 февраля 2019 г. Ижевск: Изд-во Ижевской ГСХА, 2019. С. 205–208.
- [24] Якимов М.В. Лесоводственные методы формирования нектарных липняков в Удмуртской Республике // Инженерные кадры — будущее инновационной экономики России, 2019. № 2. С. 117–121.
- [25] Соколов П.А. Состояние и теоретические основы формирования липняков. Йошкар-Ола: Марийское книжное изд-во, 1978. 208 с.
- [26] Якимов М.В. Медово-экономический эффект липовых насаждений // Научному прогрессу — творчество молодых: Материалы XVII Междунар. молодежной науч. конф. по естественнонаучным и техническим дисциплинам, 22–23 апреля 2022 года, Йошкар-Ола. Йошкар-Ола: Изд-во ПГТУ, 2022. С. 422–425.
- [27] Sultanova R.R., Gabdrakhimov K.M., Khayretdinov A.F., Konashova S.I., Kononov V.F., Blonskaya L.N., Sabirzyanov I.G., Martynova M.V., Isyanulova R.R., Gabdelkhakov A.K. Evaluation of ecological potential of forests // J. of Engineering and Applied Sciences, 2018, t. 13, no. S8, pp. 6590–6596.
- [28] Якимов М.В., Абсалямов Р.Р., Якимов Д.В. Влияние погодных условий на медосбор в период цветения липы мелколистной в Удмуртской Республике // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 1. С. 41–49. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-1-41-49
- [29] Якимов М.В., Абсалямов Р.Р., Якимов Д.В., Воробьева С.Л. Состояние естественных медоносных ресурсов Удмуртской Республики // Пчеловодство, 2019. № 3. С. 30–32.
- [30] ОСТ 56-69–83. Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки. М.: Изд-во ЦБНТИлесхоз, 1984. 60 с.
- [31] Каппер В.Г. Об организации ежегодных систематических наблюдений за плодоношением древесных пород // Труды по лесному опытному делу, 1930. Вып. 8. С. 103–139.
- [32] Ибрагимов И.А., Муратов М.Э. Материалы к установлению медопродуктивности липняков БАССР // Сборник трудов Башкирской лесной опытной станции, 1962. Вып. 4. С. 177–184.
- [33] Sultanova R., Gabitov I.I., Yanbaev Y.A., Yumaguzhin F.G., Martynova M.V., Chudov I.V., Tuktarov V.R. Forest melliferous resources as a sustainable development factor of beekeeping // Israel J. of Ecology & Evolution, 2019, t. 65, no. 3–4, pp. 77–84.
- [34] Фархутдинов Р.Г., Хисамова Р.Р., Хисамов Р.Р., Галеев Э.И., Онучин М.С., Зубаиров Р.Р., Талыпов М.А. Результаты мониторинга состояния насаждений *Tilia cordata* в лесах северной лесостепи Республики Башкортостан // Известия Оренбургского государственного аграрного университета, 2020. № 1 (81). С. 69–73.
- [35] Султанова Р.Р., Конашова С.И., Михайлова Н.В. Формирование нектарных насаждений липы мелколистной // Достижения науки и техники АПК, 2010. № 2. С. 32–33.

Сведения об авторах

Якимов Михаил Витальевич — ст. преподаватель кафедры лесоустройства и экологии, ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный аграрный университет», mikhailyaskimov@yandex.ru

Абсальямов Рафаэль Рамзинович [✉] — канд. с.-х. наук, доцент, зав. кафедрой лесоустройства и экологии, ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный аграрный университет», lesovod27@yandex.ru

Якимова Валентина Юрьевна — канд. с.-х. наук, ассистент кафедры кормления и разведения сельскохозяйственных животных, ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный аграрный университет», valentina.yaki@yandex.ru

Поступила в редакцию 21.12.2022.

Одобрено после рецензирования 28.04.2023.

Принята к публикации 07.09.2023.

INFLUENCE OF PLANTINGS TAXATION INDICATORS ON LINDEN TREES FLOWERING IN UDMURT REPUBLIC

M.V. Yakimov, R.R. Absalyamov[✉], V.Y. Yakimova

Udmurt State Agrarian University, 11, Studentskaya st., Izhevsk, 426069, Udmurt Republic, Russia

lesovod27@yandex.ru

The article presents the study results of a linden plantations flowering index. Experimental methods, observations as well as forestry and taxation techniques were used in the course of the study. Circular test areas of a constant radius were laid to study the taxation indicators of linden plantations and to determine the linden flowering index. The test areas are laid within a radius of three kilometers from the apiaries located, since the active flight of honey bees is approximately this distance from the hives located. The trial areas are laid out in accordance with OST 56-69-83 «Trial forest management areas. Establishment method». The composition of plantings around two stationary and two transportable apiaries has been studied. The linden plantations flowering indices were determined. The results of the research are of practical interest mainly for beekeepers. The materials of scientific research are used in the educational process in the preparation of students in the «Forestry» science. The maximum flowering index is observed in incomplete (0,4...0,5) ripe and over-ripe stands with a predominance of small-leaved linden in the composition. It is this completeness of the stand that makes it possible to increase the width and length of the crown, thereby contributing to an increase in the number of flowers and, accordingly, the lime flowering index.

Keywords: lime plantations, experimental apiaries, accounting period, taxation indicators, flowering index

Suggested citation: Yakimov M.V., Absalyamov R.R., Yakimova V.Y. *Vliyanie taksatsionnykh pokazateley nasazhdeniy na tsvetenie lipnyakov v Udmurtskoy respublike* [Influence of plantings taxation indicators on linden trees flowering in Udmurt Republic]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2023, vol. 27, no. 5, pp. 82–91. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-5-82-91

References

- [1] Samsonova I.D., Sidarenko P.V. *Resursnyy potentsial lesnykh polos agrolandshaftov stepnogo Pridon'ya* [Resource potential of forest belts of agrolandscapes of the steppe Don region]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Proceedings of the Orenburg State Agrarian University], 2022, no. 1 (93), pp. 59–65.
- [2] Yakimov M.V., Busorgina N.A. *Ispol'zovanie lesov dlya vedeniya sel'skogo khozyaystva (pchelovodstva)* [The use of forests for agriculture (beekeeping)]. *Nauchnye innovatsii v razvitiy otrasley APK: mater. Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Scientific innovations in the development of agricultural sectors: mater. International Scientific and Practical Conference]. In 3 v. Izhevsk, February 18–21, 2020. Izhevsk: Izhevsk State Agricultural Academy, 2020, pp. 154–156.
- [3] Samsonova I.D., Sattarov V.N., Gil'manova G.R. *Medonosnaya tsennost' plodovykh vidov v stepnom Pridon'e* [Honey-bearing value of fruit species in the steppe Don region]. *Vestnik IrGSKhA, [Vestnik IrGSHA]*, 2022, no. 110, pp. 33–44.
- [4] Khisamov R.R., Farkhutdinov R.G., Yumaguzhin F.G. Honey production potential and cadastral valuation of melliferous resources for the Southern Ural. *J. of Engineering and Applied Sciences*, 2018, t. 13, no. S5, pp. 4622–4629.
- [5] Khisamov R., Yanbaev Y., Yumaguzhin F., Farkhutdinov R., Ishbulatov M., Onuchin M., Mustafin R., Rakhmatullin Z., Talipov E. Nectariferous potential and cadastral evaluation of honey resources of the wildlife Altyin Solok Reserve created for the conservation and reproduction of the Burzian population of the *Apis Mellifera Mellifera* L.. *Bulgarian J. of Agricultural Science*, 2019, 25 (Suppl. 2), pp. 140–149.
- [6] Khisamova R.R., Musin Kh.G., Karyugina V.G., Farkhutdinov R.G. *Ekologicheskaya i fiziologo-biokhimicheskaya kharakteristika populyatsiy lipy melkolistnoy na territorii Respubliki Bashkortostan* [Ecological and physiological-biochemical characteristics of small-leaved linden populations on the territory of the Republic of Bashkortostan]. *Biomics*, 2022, v. 14(4), pp. 300–304. DOI: 10.31301/2221-6197.bmcs.2022-28

- [7] Lyubimov A.I., Kolbina L.M., Kislyakova E.M., Vorob'eva S.L. *Medovyy zapas lesnykh nasazhdeniy Udmurtskoy Respubliki* [Honey reserve of forest plantations of the Udmurt Republic]. *Izvestiya Gorskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [News of the Gorsk State Agrarian University], 2015, t. 52, no. 3, pp. 101–104.
- [8] Zolotukhin A.I. *Lesnaya rastitel'nost' i ekologo-biologicheskaya kharakteristika naibolee rasprostranennykh rasteniy okrestnostey g. Balashova* [Forest vegetation and ecological and biological characteristics of the most common plants in the vicinity of Balashov]. *Balashovskiy kray: kraevedcheskiy al'manakh* [Balashov Territory: Almanac of Local Lore], 2001, no. 1 (2), pp. 49–58.
- [9] Khayretdinov A.F., Sultanova R.R. *Mineral'nyy sostav lipovogo meda* [Mineral composition of lime honey]. *Pchelovodstvo i apiterapiya* [Beekeeping and apitherapy], 2004, no. 3, pp. 34–35.
- [10] Murahtanov E.S. *Pchelovodstvo v lipnyakah*. [Beekeeping in lipnyaki]. Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1977, 104 p.
- [11] Larionova O.S., Mannapov A.G. *Vliyaniye mikrobiologicheskogo preparata apik na mikrobiotsenoz pchel, biologicheskie pokazateli i rezul'taty zimovki* [Influence of the microbiological preparation apik on the microbiocenosis of bees, biological indicators and wintering results]. *Vestnik Saratovskogo gosagrouniversiteta im. N.I. Vavilova* [Bulletin of the Saratov State Agrarian University. N.I. Vavilova], 2011, no. 10, pp. 24–28.
- [12] Legochkin O.A., Larionova O.S., Mannapov A.G. *Organizatsiya semey-medovikov pri zaplanirovannom roenii pchel* [Organization of families of honey in the planned the bees swarming]. *Vestnik Saratovskogo gosagrouniversiteta im. N.I. Vavilova* [Bulletin of the Saratov State Agrarian University. N.I. Vavilova], 2012, no. 4, pp. 26–29.
- [13] Madebeykin I.N., Madebeykin I.I. *Eshche raz o lipe* [Once again about the lime tree]. *Pchelovodstvo* [Beekeeping], 2012, no. 7, pp. 20–21.
- [14] Martynova M.V. *Optimizatsiya kormovoy bazy pchelovodstva v Respublike Bashkortostan* [Optimization of the forage base of beekeeping in the Republic of Bashkortostan]. *Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Bashkir State Agrarian University], 2020, no. 2(54), pp. 38–44.
- [15] Kaygorodov R.V., Kuleshova T.S. *Vidovye ekologo-biokhicheskie osobennosti nektara medonosnykh rasteniy* [Specific ecological and biochemical features of honey plant nectar]. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education], 2015, no. 3, p. 586.
- [16] Seryakov I.S. *Pchelovodstvo. Plemennaya rabota v pchelovodstve* [Beekeeping. Tribal work in beekeeping]. Gorki: Belorusskaya gosudarstvennaya sel'skokhozyaystvennaya akademiya [Belarusian State Agricultural Academy], 2021, 60 p.
- [17] Sabirova G.V., Gabdelkhakov A.K., Gabdrakhimov K.M. *Dinamika taksatsionnykh pokazateley spelogo drevostoya lipy melkolistnoy v zelenoy zone g. Ufy* [Dynamics of taxation indicators of a mature stand of small-leaved linden in the green zone of Ufa]. *Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Bashkir State Agrarian University], 2017, no. 1 (41), pp. 108–111.
- [18] Mikhaylova N.V. *Produktivnost' estestvennykh lipovo-elovykh nasazhdeniy Predural'ya* [Productivity of natural linden-spruce plantations of the Cis-Urals] *Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Bashkir State Agrarian University], 2010, no. 4, pp. 57–62.
- [19] Kozyakov S.N. *Growth course of linden forests by forest types in the Bashkir Autonomous Soviet Socialist Republic* [The course of growth of linden trees by types of forest in the Bashkir ASSR]. *Trudy Bashkirskoy SKhI* [Proceedings of the Bashkir Agricultural Institute], 1963, t. 11, ch. 1, pp. 64–67.
- [20] Kostyrina T.V., Komin A.E. *Medoproduktivnost' dal'nevostochnykh lip i sravnitel'naya otsenka rezul'tatov rascheta ot rubki lipovykh nasazhdeniy i po ispol'zovaniyu ikh dlya razvitiya pchelovodstva* [Honey productivity of Far Eastern lindens and a comparative assessment of the results of the calculation from the felling of linden plantations and their use for the development of beekeeping]. *Agrarnyy vestnik Primor'ya* [Agrarian Bulletin of Primorye], 2018, no. 4 (12), pp. 82–86.
- [21] Merzlenko M.D., Mel'nik P.G., Sukhorukov A.S. *Lesovodstvennaya ekskursiya v Losimyy ostrov* [Silvicultural excursion to Losiny ostrov]. Moscow: MSFU, 2008, 128 p.
- [22] Yakimov M.V., Absalyamov R.R. *Analiz lipnyakov v Udmurtskoy Respublike* [Analysis of lipnyaks in the Udmurt Republic]. *Sovremennomu APK — effektivnye tekhnologii: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Modern agro-industrial complex — effective technologies: materials of the International scientific-practical conference]. Izhevsk, December 11–14, 2018. Izhevsk: Izhevsk State Agricultural Academy, 2019, pp. 345–348.
- [23] Yakimov M.V., Busorgina N.A. *Osnovy vedeniya spetsial'nogo khozyaystva v lipnyakakh tselevogo lesopol'zovaniya* [Fundamentals of special farming in lipnyaks of target forest use]. *Agrarnaya nauka — sel'skokhozyaystvennomu proizvodstvu: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Agrarian science for agricultural production: materials of the International scientific and practical conference], Izhevsk, February 12–15, 2019. Izhevsk: Izhevsk State Agricultural Academy, 2019, pp. 205–208.
- [24] Yakimov M.V. *Lesovodstvennyye metody formirovaniya nektarnykh lipnyakov v Udmurtskoy Respublike* [Forestry methods of formation of nectar limes in the Udmurt Republic]. *Inzhenernyye kadry — budushchee innovatsionnoy ekonomiki Rossii* [Engineering personnel — the future of the innovative economy of Russia], 2019, no. 2, pp. 117–121.
- [25] Sokolov P.A. *Sostoyaniye i teoreticheskie osnovy formirovaniya lipnyakov* [The state and theoretical foundations of the formation of lipnyaks]. Yoshkar-Ola: Mar. book publishing house, 1978, 208 p.
- [26] Yakimov M.V. *Medovo-ekonomicheskiy effekt lipovykh nasazhdeniy* [Honey-economic effect of lime plantations]. *Nauchnomu progressu — tvorchestvo molodykh: materialy XVII Mezhdunarodnoy molodezhnoy nauchnoy konferentsii po estestvennonauchnym i tekhnicheskim distsiplinam* [Scientific progress — creativity of the young : materials of the XVII International Youth Scientific Conference on Natural Science and Technical Disciplines], Yoshkar-Ola, 22–23 April 2022. Yoshkar-Ola, 2022, pp. 422–425.
- [27] Sultanova R.R., Gabdrakhimov K.M., Khayretdinov A.F., Konashova S.I., Konovalov V.F., Blonskaya L.N., Sabirzyanov I.G., Martynova M.V., Isyanyulova R.R., Gabdelkhakov A.K. Evaluation of ecological potential of forests // *J. of Engineering and Applied Sciences*, 2018, t. 13, no. S8, pp. 6590–6596.
- [28] Yakimov M.V., Absalyamov R.R., Yakimov D.V. *Vliyaniye pogodnykh usloviy na medosbor v period tsveteniya lipy melkolistnoy v Udmurtskoy Respublike* [Influence of weather conditions on honey yield during flowering period of small-leaved linden in Udmurt Republic]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 1, pp. 41–49. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-1-41-49

- [29] Yakimov M.V., Absalyamov R.R., Yakimov D.V., Vorob'eva S.L. *Sostoyanie estestvennykh medonosnykh resursov Udmurtskoy Respubliki* [State of natural honey-bearing resources of the Udmurt Republic]. *Pchelovodstvo* [Beekeeping], 2019, no. 3, pp. 30–32.
- [30] OST 56-69–83. *Ploshchadi probnye lesoustroitel'nye. Metod zakladki* [Trial forest inventory areas. Bookmark method.]. Moscow: CBNTIleskhoz, 1984, 60 p.
- [31] Kapper V.G. Ob organizatsii ezhegodnykh sistematicheskikh nablyudeniye za plodonosheniem drevesnykh porod [On the organization of annual systematic observations of the fruiting of tree species]. *Trudy po lesnomu opytному delu* [Works on forest experimental], 1930, v. 8, pp. 103–139.
- [32] Ibragimov I.A., Muratov M.E. *Materialy k ustanovleniyu medoproduktivnosti lipnyakov BASSR* [Materials for establishing the honey productivity of lipnyakov BASR]. *Sbornik trudov po lesnomu khozyaystvu BashLOS* [Collection of works on forestry BashLOS], 1962, v. 4, pp. 177–184.
- [33] Sultanova R., Gabitov I.I., Yanbaev Y.A., Yumaguzhin F.G., Martynova M.V., Chudov I.V., Tuktarov V.R. Forest melliferous resources as a sustainable development factor of beekeeping // *Israel J. of Ecology & Evolution*, 2019, t. 65, no. 3–4, pp. 77–84.
- [34] Farkhutdinov R.G., Khisamova R.R., Khisamov R.R., Galeev E.I., Onuchin M.S., Zubairov R.R., Talypov M.A. *Rezultaty monitoringa sostoyaniya nasazhdeniy Tilia cordata v lesakh severnoy lesostepi Respubliki Bashkortostan* [Results of monitoring the state of *Tilia cordata* plantations in the forests of the northern forest-steppe of the Republic of Bashkortostan]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Proceedings of the Orenburg State Agrarian University], 2020, no. 1 (81), pp. 69–73.
- [35] Sultanova R.R., Konashova S.I., Mikhaylova N.V. *Formirovaniye nektarnykh nasazhdeniy lipy melkolistnoy* [Formation of nectar plantations of small-leaved linden]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of science and technology of agriculture], 2010, no. 2, pp. 32–33.

Authors' information

Yakimov Mikhail Vital'evich — Senior Lecturer of the Department of forest management and ecology, Udmurt State Agrarian University, mikhailyackimov@yandex.ru

Absalyamov Rafael' Ramzievich — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor, Head of the Department of Forest management and ecology, Udmurt State Agrarian University, lesovod27@yandex.ru

Yakimova Valentina Yur'evna — Cand. Sci. (Agriculture), Assistant of the Department of feeding and breeding of farm animals, Udmurt State Agrarian University, valentina.yaki@yandex.ru.

Received 21.12.2022.

Approved after review 28.04.2023.

Accepted for publication 07.09.2023.

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

ПРИЖИВАЕМОСТЬ КУЛЬТУР СОСНЫ КЕДРОВОЙ СИБИРСКОЙ (*PINUS SIBIRICA* DU TOUR.) В УСЛОВИЯХ ХАНТЫ-МАНСКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА — ЮГРЫ

А.Е. Осипенко, Л.А. Белов, К.А. Башегуров, С.В. Залесов[✉]

ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» (УГЛТУ), Россия, 620110, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, д. 37

Zalesov@usfeu.ru

Рассматриваются причины низкой приживаемости культур сосны кедровой сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour.) в условиях Западно-Сибирского среднетаежного равнинного лесного района. Приведены данные о местонахождении и описаны исследуемые участки культур сосны кедровой сибирской, а также данные о количестве сохранившихся растений и приживаемости сеянцев на обследованных участках. Установлено, что приживаемость культур сосны кедровой сибирской на четырех участках в 2020 г. составляла 7,8...60,3 %, а в 2022 г. данный показатель снизился до 3,6...39,8 %. Для увеличения приживаемости культур сосны кедровой сибирской рекомендовано отказаться от технологий обработки почвы, при которых верхний плодородный слой перемешивается с нижележащими горизонтами, а также своевременно проводить агротехнические и лесоводственные уходы.

Ключевые слова: сосна кедровая сибирская, приживаемость, лесные культуры, саженцы, лесовосстановление

Ссылка для цитирования: Осипенко А.Е., Белов Л.А., Башегуров К.А., Залесов С.В. Приживаемость культур сосны кедровой сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour.) в условиях Ханты-Мансийского автономного округа — Югры // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 5. С. 92–99.
DOI: 10.18698/2542-1468-2023-5-92-99

Сосна кедровая сибирская (*Pinus sibirica* Du Tour.) является одной из наиболее перспективных и продуктивных древесных пород — лесообразователей Ханты-Мансийского автономного округа — Югры (ХМАО — Югра) [1–4]. В пределах ХМАО — Югры площадь лесов с преобладанием сосны кедровой сибирской составляет около 4188,7 тыс. га. Большие площади кедровников учтены только в Красноярском крае (9679,5 тыс. га) и Иркутской области (6915,8 тыс. га) [5, 6]. Широкое распространение сосны кедровой сибирской объясняется наличием благоприятных для данной породы мест произрастания: равнинные территории со свежими почвами с постоянным и достаточным проточным увлажнением [7–9].

Средняя приживаемость лесных культур сосны кедровой сибирской в пределах ХМАО — Югры, по данным государственной инвентаризации лесов, составляет 73,1 % [5]. Однако если приживаемость создаваемых посадкой лесных культур в первый год довольно высока, то с увеличением возраста данный показатель имеет четкую тенденцию к снижению [2]. Основными причинами избыточного отпада в лесных культурах чаще всего являются погодные условия (холодная и поздняя весна, ранние осенние заморозки), жиз-

недеятельность диких животных и птиц, низовые пожары, вымокание сеянцев, а также отсутствие необходимых агротехнических и лесоводственных уходов в первые годы после посадки [2, 5, 8, 10–12].

Согласно результатам государственной инвентаризации лесов, в России только 21 % площадей культур сосны кедровой сибирской (данные о которых имеются в Государственном лесном реестре Российской Федерации — далее Лесной реестр) были справедливо отнесены к землям, на которых расположены леса. Соответственно 79 % площадей культур сосны кедровой сибирской, хотя и внесены в Лесной реестр, не соответствуют требованиям, предъявляемым к молоднякам [5].

По данным В.С. Панёвина и соавторов [13], в таежных районах Западной Сибири до 10-летнего возраста в хорошем состоянии находится 14,3 % культур сосны кедровой сибирской, в удовлетворительном — 29,8 %, неудовлетворительные и погибшие посевы и посадки составляют 59,9 %. Среди культур старше 10 лет хорошее состояние имеют 9,5 %, удовлетворительное — 23,8 %, находящиеся в неудовлетворительном состоянии и погибшие занимают 66,7 % площади. При этом культуры хорошего и удовлетворительного качества выращены преимущественно на землях, ранее не занятых лесом (сенокосах, пустырях, залежах), и не зараставших лиственными породами [10, 14].

Местонахождение и описание исследуемых участков**Location and description of the study plots**

Номер участка	Координаты по GPS	Номер квартала	Номер выдела	Площадь, га	Тип леса до пожара	Год посадки	Средний шаг посадки, м	Ширина междурядий, м	Густота посадки, тыс. шт./га
1	59°17.131' 73°48.396'	1903	51, 54, 56	21,4	ЗММЯГ	2019	0,8	3,0	4,0
2	59°17.754' 75°03.609'	1935	4, 5, 6, 7, 34, 35	77,7	БР	2019	0,8	3,0	4,0
3	59°16.834' 73°48.768'	1903	56	12,6	БГБРМ	2018	1,0	1,8	4,0
4	59°16.410' 73°48.783'	1903	75, 146, 147	18,4	БГБРМ	2018	1,0	1,8	4,0

Таким образом, поскольку проблема низкой приживаемости культур сосны кедровой сибирской до сих пор не решена, данное направление исследований является актуальным.

Материалы и методы

Исследования были проведены на территории Тайлаковского участкового лесничества Юганского территориального отдела — лесничества в Сургутском районе Ханты-Мансийского автономного округа — Югры. Обследовано четыре лесных участка, на которых выполнялись компенсационные мероприятия с созданием лесных культур сосны кедровой сибирской (табл. 1). Работы выполняли в два этапа: 1) октябрь 2020 г.; 2) июнь 2022 г.

Обследование площадей осуществлялось в соответствии с рекомендациями по инвентаризации лесных культур, приведенными в актуальных на момент исследований Правилах лесовосстановления [15, 16]. Пробные площади (ПП) имели форму вытянутых прямоугольников или лент. Продольные границы ПП совпадали с серединой междурядий культур. На первом участке было заложено пять ПП общей площадью 0,77 га; на втором — пять ПП общей площадью 1,25 га; на третьем — две ПП общей площадью 0,35 га; на четвертом участке — три ПП общей площадью 0,44 га.

До начала искусственного лесовосстановления исследуемые участки представляли собой гари 2011 г. с количеством пней до 650 шт./га, при их среднем диаметре 26 см. До пожара на первом участке произрастал древостой с составом 5К2П1Е2Б, на втором — 4Ос3Б1С1К1Е. Состав древостоев, произраставших на третьем и четвертом участках, не известен.

Подготовка площади и обработка почвы на исследуемых участках проводились осенью 2017 г. Подготовительные работы включали в себя уборку оставшихся деревьев (мульчером АНWI

RAPTOR-800), раскорчевку пней (бульдозером PENGPU PD 165Y-2), перемешивание порубочных остатков, пней и заготовленной нетоварной древесины с почвой (экскаватором DOOSAN DX-225). После перемешивания органических остатков с почвой территория участков уплотнялась бульдозером.

Почва была обработана полосами путем создания микроповышений (гряд) высотой 1–2 м. Гряды создавались экскаватором и бульдозером, имели ширину 3–5 м по верхней части, дренажные канавы между ними имели ширину 1–3 м по нижнему краю. Работы проводились с учетом естественного рельефа местности.

На всех участках были созданы лесные культуры сосны кедровой сибирской с посадкой трехлетних сеянцев. Проектная густота посадки составляла 4,0 тыс. шт./га. Посадка осуществлялась весной под меч Колесова. Сеянцы высаживались на гряды по два ряда на каждой полосе.

Сеянцы сосны кедровой сибирской выращенные из семян второго класса качества были привезены из Александровского лесничества Томской области (лесосеменной район 15а).

Результаты и обсуждение

Культуры сосны кедровой сибирской на исследуемых участках были созданы в связи с тем, что данная порода является одной из основных лесообразующих пород на территории ХМАО — Югры. Известно [17–22], что в районе исследования распространению сосны кедровой сибирской способствуют животные. Кроме того, выбор в качестве основной лесной древесной породы сосны кедровой сибирской обусловлен подходящими почвенно-климатическими условиями. Об этом свидетельствует присутствие сосны кедровой сибирской с долей участия от 1 до 5 ед. состава на обследованных участках в составе древостоев до пожара.



Рис. 1. Гряда на первом участке, пятый год после создания (кв. 1903 выд. 51)
Fig. 1. Ridge on the first plot, five years old (Q. 1903 ot. 51)



Рис. 2. Сохранившиеся сеянцы сосны кедровой сибирской на втором участке
Fig. 2. Preserved Siberian pine seedlings on the second plot

В качестве метода создания исследуемых лесных культур была выбрана посадка, так как посев сосны кедровой сибирской менее эффективен. При посеве требуется большее количество семян, они быстро теряют жизнеспособности, существует большая вероятность повреждения посеянных семян грызунами и насекомыми-вредителями [8].

Известно, что основным эдафическим фактором, обуславливающим хороший рост культур сосны кедровой сибирской, служит режим влажности почвы. Энергия роста данной породы на сухих и периодически сухих почвах снижается в 2–3 раза. Наилучший рост культур сосны кедровой сибирской наблюдается на свежих почвах, а также при проточном увлажнении [8]. Под данное описание больше подходит второй участок. На оставшихся трех участках наблюдается застойное избыточное увлажнение почвы и существует высокая вероятность их подтопления, поскольку эти участки находятся в пойме р. Большой Юган. К тому же на первом участке даже в летнее время в микропонижениях между грядами стоит вода. В связи с избыточным увлажнением на трех участках были созданы гряды (рис. 1).

Недостатком технологии создания гряд является сильное нарушение естественной структуры почвы в результате перемешивания верхних горизонтов почвы до глубины 2 м, что негативно отражается на скорости роста медленно растущей сосны кедровой сибирской. В связи с тем, что сосна требовательна к почвам, посадка семян в бедный гумусом почвогрунт снижает скорость роста молодых деревьев в 2,6 раза [13]. На бедных почвах сеянцы сосны кедровой сибирской могут находиться несколько лет без заметного роста и постепенно гибнуть из-за конкуренции с нежелательной травянистой и древесной растительностью. Такая ситуация наблюдается на всех исследуемых участках лесных культур (рис. 2). Первый прирост в высоту у многих сеянцев сосны кедровой сибирской был зафиксирован только в 2022 г. (на 3–4-й год после посадки).

Данные о количестве сохранившихся растений и приживаемости сеянцев на исследуемых участках лесных культур приведены в табл. 2.

Показатели приживаемости культур на первом, третьем и четвертом участках очень низкие, что свидетельствует о необходимости списания лесных культур и повторного искусственного лесовосстановления. На втором участке требуется дополнение лесных культур и проведение качественного лесоводственного ухода, поскольку на данном участке наблюдается зарастание мягколиственными породами, преимущественно березой (рис. 3).

Выделить какую-либо одну основную причину низкой приживаемости культур на исследуемых участках довольно сложно, так как сеянцы погибают в течение всего периода после их высадки на лесокультурную площадь. При этом различные негативные факторы могут воздействовать комплексно.

Возможными причинами гибели сеянцев могли быть следующие процессы [23–26]:

– подсушивание корневых систем сеянцев во время транспортировки на лесокультурную площадь и в процессе посадки;

– не соблюдение технологии посадки под меч Колесова (чрезмерное и недостаточное заглубление корневой шейки);

– вымокание сеянцев (избыточное увлажнение почвы как атмосферными осадками, так и весенним разливом реки Большой Юган);

– угнетение сеянцев живым напочвенным покровом и нежелательными древесными породами;

– биотические факторы (объедание сеянцев копытными, грызунами и птицами, повреждение насекомыми и болезнями);

– несоответствие технологии подготовки почвы биологическим особенностям культивируемой породы (посадка в перемешанный почвогрунт, бедный гумусом).

Возможна гибель сеянцев и от других причин.

Одной из наиболее вероятных причин низкой приживаемости сеянцев является вымокание, подтверждаемое наличием глинистых почв, препятствующих перемещению осадков и талой воды во внутрпочвенные горизонты. Высокое стояние грунтовых вод также способствует подтоплению и вымоканию сеянцев.

Довольно высока вероятность гибели сеянцев вследствие их затенения нежелательной травянистой и древесной растительностью. При визуальном обследовании участков лесных культур проективное покрытие травянистой растительностью (при доминировании хвоща лесного и иван-чая узколистного) достигало 60...100%. По живому напочвенному покрову обследованные участки можно отнести к таким типам вырубков, как хвощевая и крупнотравно-хвощевая с тяжелосуглинистыми и болотными почвами.

Обследованные участки лесных культур относятся к Западно-Сибирскому среднетаежному равнинному району. Согласно действующим Правилам лесовосстановления [27], к моменту отнесения лесных культур к землям, на которых расположены леса, должно быть не менее 1,5...1,7 тыс. шт./га сохранившихся растений. При этом современное лесное законодательство не устанавливает нормативных значений приживаемости (в процентном соотношении от первоначальной густоты) в первый и последующие годы после посадки. Предусмотрены только общие требования к показателям приживаемости лесных культур: дополнению подлежат лесные культуры с приживаемостью 25...85% количества деревьев основных пород необходимого для отнесения участка к покрытым лесной растительностью землям. Погибшими считаются лесные культуры с приживаемостью менее 25% относительно количества деревьев основных пород, установ-

Т а б л и ц а 2

Количество сохранившихся растений и приживаемость сеянцев на участках культур сосны кедровой сибирской в 2020 и 2022 гг.

Number of surviving plants and seedling in Siberian pine culture plots in 2020 and 2022

Номер участка	Количество сохранившихся растений, шт./га		Приживаемость, %	
	2020	2022	2020	2022
1	310	144	7,8	3,6
2	2413	1594	60,3	39,8
3	324	171	8,1	4,3
4	593	316	14,8	7,9



Рис. 3. Заращение второго участка мягколиственными породами (кв. 1935, выд. 4)

Fig. 3. Colonization of the second plot with softwood-leaved species (square 1935, sample 4)

ленного требованиями к молоднякам лесных древесных пород.

До 2020 г. списание лесных культур (признание их погибшими) осуществлялось при приживаемости 25% относительно количества посадочных мест, учтенных на ПП, а не от густоты молодняков, которые должны быть сформированы для отнесения участка к землям, где произрастают леса. Данное изменение позволяет не списывать культуры с существенно меньшей приживаемостью, чем было принято ранее. Например, для сосны кедровой сибирской при создании культур в районе исследований в мшистой группе типов леса при густоте посадки 4,0 тыс. шт./га до 2020 г. культуры необходимо было списать при густоте менее 1,0 тыс. шт./га, а после 2020 г. — только при густоте менее 0,425 тыс. шт./га.

Помимо того, что современные Правила лесовосстановления [15] занижают требования к приживаемости лесных культур, п. 60 этих Правил (о приживаемости при списании лесных культур) вступает в противоречие с п. 54 Правил, в котором дается определение понятия «приживаемость

лесных культур». Согласно п. 54, приживаемость — это «выраженное в процентах отношение числа посадочных (посевных) мест с сохранившимися растениями к общему числу посадочных (посевных) мест, учтенных на пробной площади», а в п. 60 предлагается посчитать приживаемость как отношение числа посадочных (посевных) мест с сохранившимися растениями к «количеству деревьев основных пород, установленному требованиями (критериями) к молоднякам лесных древесных пород, указанными в таблице 1 приложений 1–41 к Правилам».

На основании изложенного выше можно сделать вывод о недоработках современного лесного законодательства в области лесовосстановления, что, вероятно, также является одной из причин низкой приживаемости лесных культур, создаваемых в России.

Кроме того, одной из причин гибели сеянцев на участках культур следует назвать повреждение сеянцев вездеходной техникой. В связи с отсутствием дорог обследуемые участки относятся к труднодоступным территориям. Проезд к ним и по ним возможен только на спецтехнике, например вездеходах Argo 8x8 ХТІ. При передвижении по участкам лесовосстановления довольно много сеянцев попадает под колеса вездехода, и, вероятно, не все сеянцы могут восстановиться после наезда на них.

Неудовлетворительные результаты искусственного лесовосстановления при довольно высоких расходах на создание лесных культур (около 370 тыс. руб./га в ценах 2018 г.) свидетельствуют о несовершенстве описанной технологии создания культур сосны кедровой сибирской и в целом всей системы воспроизводства лесов в нашей стране.

Выводы

1. На исследуемых участках приживаемость культур сосны кедровой сибирской в 2020 г. составляла 7,8...60,3 %; в 2022 г. данный показатель снизился до 3,6...39,8 %.

2. Наиболее вероятными причинами низкой приживаемости культур являются вымокание сеянцев в весенний период и гибель сеянцев в результате затенения нежелательной травянистой и древесной растительностью. Однако не исключается влияние комплекса нескольких негативных факторов.

3. Лесные культуры на первом, третьем и четвертом участках необходимо признать погибшими и списать, а также повторно провести посадку.

4. На втором участке следует в кратчайшие сроки провести лесоводственный уход и дополнительное лесных культур укрупненными сеянцами или саженцами сосны кедровой сибирской.

5. Для увеличения приживаемости культур сосны кедровой сибирской не рекомендуется применять технологии обработки почвы, при которых ее верхний плодородный слой перемешивается с нижними почвенными горизонтами, а также следует своевременно проводить агротехнические и лесоводственные уходы.

Список литературы

- [1] Перекальский В.В., Креснов В.Г., Манович В.Н., Махонин А.С., Буторина Т.М. О характеристике кедровых лесов Сибири // Кедровые леса в Ханты-Мансийском автономном округе — Югре: состояние, проблемы, повышение их продуктивности. Ханты-Мансийск: ИД «Югорский», 2007. С. 4–8.
- [2] Фролова Т.А. Искусственные кедровники Ханты-Мансийского автономного округа — Югры // Леса России и хозяйство в них, 2009. Вып. 3 (33). С. 32–36.
- [3] Залесов С.В., Чижов Б.Е., Титов Е.В., Платонов Е.П. Кедровники Югры — вчера, сегодня, завтра. Ханты-Мансийск: Печатное дело, 2012. 178 с.
- [4] Чижов Б.Е., Бех И.А. Кедровые леса Западно-Сибирской равнины, хозяйство в них. Пушкино: Изд-во ВНИИЛМ, 2014. 164 с.
- [5] Косицын В.Н. Оценка состояния лесных культур кедр при государственной инвентаризации лесов // Лесная таксация и лесоустройство, 2014. № 1. С. 65–68.
- [6] Дебков Н.М., Данченко А.М. Состояние орехопромысловых зон (на примере Томской области) // Устойчивое лесопользование, 2016. № 3 (47). С. 36–41.
- [7] Смолоногов Е.П., Залесов С.В. Эколого-лесоводственные основы организации и ведения хозяйства в кедровых лесах Урала и Западно-Сибирской равнины. Екатеринбург: Изд-во УГЛТУ, 2002. 186 с.
- [8] Чернов Н.Н. Культуры кедр сибирского на Урале // Леса Урала и хозяйство в них, 2006. № 27. С. 170–178.
- [9] Морозов А.Е., Морозова Л.М., Залесов С.В., Зотеева Е.А., Петров А.П., Капралов А.В. Состояние кедровых лесов Среднего Приобья под воздействием интенсивной нефтедобычи // Альманах современной науки и образования, 2007. № 6. С. 77–82.
- [10] Данченко А.М., Бех И.А. Кедровые леса Западной Сибири. Томск: Изд-во Томского государственного университета, 2010. 424 с.
- [11] Дебков Н.М., Карташова Т.Ю., Залесова Е.С., Белов Л.А., Оплетав А.С., Тимербулатов Ф.Т. Некоторые аспекты последствий осветлений в кедровых культурах // Леса России и хозяйство в них, 2018. Вып. 3 (66). С. 21–28.
- [12] Дебков Н.М., Сидоренков В.М. Динамика энергии семеношения кедровников, сформированных рубками ухода // Лесохозяйственная информация, 2019. № 1. С. 89–100.
- [13] Панёвин В.С., Воробьев В.Н., Парамонов Е.Г., Исаков И.П., Коротков И.А., Садиков Н.А., Семечкин И.В., Скороходов С.Н. Оптимизация использования и воспроизводства ресурсов // Проблемы кедр. Томск: Изд-во Томского научного центра СО АН СССР, 1989. 158 с.
- [14] Секерин Е.М., Залесов С.В., Юровских Е.В., Магасумова А.Г. Создание лесных культур кедр сибирского на заброшенных сельскохозяйственных угодьях // Лесотехнические университеты в реализации концепции возрождения инженерного образования: социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса, 2015. Т. 10. С. 255–257.

- [15] Приказ Минприроды России от 04.12.2020 № 1014 «Об утверждении Правил лесовосстановления, состава проекта лесовосстановления, порядка разработки проекта лесовосстановления и внесения в него изменений» (Зарегистрировано в Минюсте России 18.12.2020 № 61556)
- [16] Приказ Минприроды России от 25.03.2019 № 188 «Об утверждении Правил лесовосстановления, состава проекта лесовосстановления, порядка разработки проекта лесовосстановления и внесения в него изменений» (Зарегистрировано в Минюсте России 14.05.2019 № 54614)
- [17] Воробьев В.Н. Кедровка и ее взаимосвязи с кедром сибирским (опыт количественного анализа). Новосибирск: Наука, 1982. 114 с.
- [18] Седых В.Н. Лесообразовательный процесс. Новосибирск: Наука, 2009. 164 с.
- [19] Танцирев Н.В., Санников С.Н. Анализ консортивных связей между сосной сибирской и кедровкой на Среднем Урале // Экология, 2011. № 1. С. 20–24.
- [20] Шашкевич Н.Ю., Шишкин А.С. Зоогенный фактор возобновления сосны кедровой сибирской в горно-таежных лесах Восточного Саяна // Сибирский экологический журнал, 2014. № 2. С. 313–318.
- [21] Дебков Н.М., Залесов С.В., Оплетаев А.С. Обеспеченность осинников средней тайги подростом предварительной генерации (на примере Томской области) // Аграрный вестник Урала, 2015. № 12 (142). С. 48–53.
- [22] Дебков Н.М., Оплетаев А.С. О степени изученности консортивных связей кедровки тонкокловый *Nucifraga caryocatactes* L. и сосны сибирской *Pinus sibirica* Du Tour.) // Леса России и хозяйство в них, 2017. № 1 (60). С. 12–18.
- [23] Читоркин В.В. Состояние и рост старовозрастных культур кедровки сибирской в Западной Сибири // Лесное хозяйство, 2008. № 4. С. 38–40.
- [24] Бабич Н.А., Хамитов Р.С., Хамитова С.М. Селекция и семенная репродукция кедровки сибирской. Вологда; Молочное: Изд-во ВГМХА, 2014. 154 с.
- [25] Братилова Н.П., Лузганов А.Г., Свалова А.И. Рост сосны кедровой сибирской бирюсинского происхождения при высокой сомкнутости полога древостоя // Плодоводство, семеноводство, интродукция древесных растений. Красноярск: Изд-во Сибирского государственного аэрокосмического университета, 2016. С. 8–11.
- [26] Матвеева Р.Н., Буторова О.Ф., Колосовский Э.В. Влияние сомкнутости полога древостоя на рост культур сосны кедровой сибирской (участок «Горный 2»). Красноярск: Изд-во СибГУ им. М.Ф. Решетнева, 2020. 208 с.
- [27] Приказ Минприроды России от 29.12.2021 № 1024 «Об утверждении Правил лесовосстановления, формы, состава, порядка согласования проекта лесовосстановления, оснований для отказа в его согласовании, а также требований к формату в электронной форме проекта лесовосстановления» (Зарегистрировано в Минюсте России 11.02.2022 № 67240).

Сведения об авторах

Осипенко Алексей Евгеньевич — канд. с.-х. наук, доц. каф. лесоводства, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» (УГЛТУ), osipenkoae@m.usfe.ru

Белов Леонид Александрович — канд. с.-х. наук, доц. каф. лесоводства, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» (УГЛТУ), belovla@m.usfeu.ru

Башегуров Константин Андреевич — аспирант кафедры лесоводства, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» (УГЛТУ)

Залесов Сергей Вениаминович [✉] — д-р с.-х. наук, проф., зав. каф. лесоводства, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» (УГЛТУ), zalesovsv@m.usfeu.ru

Поступила в редакцию 26.12.2022.

Одобрено после рецензирования 23.01.2023.

Принята к публикации 18.07.2023.

SIBERIAN STONE PINE (*PINUS SIBIRICA* DU TOUR.) SURVIVAL CAPACITY IN KHANTY-MANSI AUTONOMOUS OKRUG, YUGRA

A.E. Osipenko, L.A. Belov, K.A. Bashegurov, S.V. Zalesov✉

Ural State Forestry University 37, Sibirskiy trakt st., 620110, Yekaterinburg, Russia

Zalesov@usfeu.ru

The article discusses the reasons for the low survival capacity of Siberian stone pine (*Pinus sibirica* Du Tour.) crops in the conditions of the West Siberian mid-taiga plain forest region. The field stage of research was performed in the autumn 2020 and the summer 2022. The survival capacity of forest crops was determined on rectangular trial plots covering 1–2 % of the total area of the surveyed plots. The article provides data on the location and description of the studied areas of Siberian stone pine crops, as well as data on the number of surviving plants and the survival capacity of seedlings in these plots. In the course of the research, it was found that the survival capacity of Siberian stone pine crops in the four studied plots was 7,8 (60,3 %) in 2020, and this figure decreased to 3,6 (39,8 %) in 2022. Along with many other possible causes of excessive death of Siberian stone pine seedlings, the most likely reasons for the poor survival capacity are soaking seedlings and suppressing them with unwanted herbaceous and woody vegetation. In the three study areas, it is recommended to write off forest crops and replant seedlings. In one of the studied crop plots, it is necessary to perform silvicultural maintenance in order to remove unwanted hardwoods and supplement forest crops with enlarged seedlings or seedlings of Siberian stone pine. To increase the survival capacity of Siberian stone pine crops, it is recommended to abandon soil cultivation methods in which the upper fertile soil layer is mixed with the underlying levels, as well as to perform agrotechnical and silvicultural maintenance in a timely manner.

Keywords: Siberian stone pine, survival capacity, forest crops, seedlings, reforestation

Suggested citation: Osipenko A.E., Belov L.A., Bashegurov K.A., Zalesov S.V. *Prizhivaemost' kul'tur sosny kedrovoy sibirskoy (Pinus sibirica Du Tour.) v usloviyakh Khanty-Mansiyskogo avtonomnogo okruga — Yugry* [Siberian Stone pine (*Pinus sibirica* Du Tour.) survival capacity in Khanty-Mansi autonomous okrug, Yugra]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2023, vol. 27, no. 5, pp. 92–99. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-5-92-99

References

- [1] Perekal'skiy V.V., Kresnov V.G., Manovich V.N., Makhonin A.S., Butorina T.M. *O kharakteristike kedrovyykh lesov Sibiri* [On the characteristics of the cedar forests of Siberia]. *Kedrovyye lesa v Khanty-Mansiyskom avtonomnom okruga — Yugre: sostoyanie, problemy, povyshenie ikh produktivnosti* [Cedar forests in the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug — Yugra: state, problems, increasing their productivity]. Khanty-Mansiysk: Publishing House Yugorsky, 2007, pp. 4–8.
- [2] Frolova T.A. *Iskustvennyye kedrovniki Khanty-Mansiyskogo avtonomnogo okruga — Yugry* [Artificial cedar forests of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug — Yugra]. *Lesa Rossii i khozyaystvo v nikh* [Forests of Russia and the economy in them], 2009, iss. 3 (33), pp. 32–36.
- [3] Zalesov S.V., Chizhov B.E., Titov E.V., Platonov E.P. *Kedrovniki Yugry — vchera, segodnya, zavtra* [The cedar forests of Ugra — yesterday, today, tomorrow]. Khanty-Mansiysk: Printing business, 2012, 178 p.
- [4] Chizhov B.E., Bekh I.A. *Kedrovyye lesa Zapadno-Sibirskoy ravniny, khozyaystvo v nikh* [Cedar forests of the West Siberian Plain, farming in them]. Pushkino: VNIILM, 2014, 164 p.
- [5] Kositsyn V.N. *Otsenka sostoyaniya lesnykh kul'tur kedra pri gosudarstvennoy inventarizatsii lesov* [Assessment of the state of forest plantations of Siberian pine during the state inventory of forests]. *Lesnaya taksatsiya i lesoustroystvo* [Forest Taxation and Forest Inventory], 2014, no. 1, pp. 65–68.
- [6] Debkov N.M., Danchenko A.M. *Sostoyanie orekhopromyslovyykh zon (na primere Tomskoy oblasti)* [The state of walnut production zones (on the example of the Tomsk region)]. *Ustoychivoe lesopol'zovanie* [Sustainable forest management], 2016, no. 3 (47), pp. 36–41.
- [7] Smolonogov E.P., Zalesov S.V. *Ekologo-lesovodstvennyye osnovy organizatsii i vedeniya khozyaystva v kedrovyykh lesakh Urala i Zapadno-Sibirskoy ravniny* [Ecological and forestry bases of organization and management in the cedar forests of the Urals and the West Siberian Plain]. Ekaterinburg: UGLTU, 2002, 186 p.
- [8] Chernov N.N. *Kul'tury kedra sibirskogo na Urale* [Siberian stone pine cultures in the Urals]. *Lesa Urala i khozyaystvo v nikh* [Forests of the Urals and the economy in them], 2006, no. 27, pp. 170–178.
- [9] Morozov A.E., Morozova L.M., Zalesov S.V., Zoteeva E.A., Petrov A.P., Kapralov A.V. *Sostoyanie kedrovyykh lesov Srednego Priob'ya pod vozdeystviem intensivnoy nefte dobychi* [The state of cedar forests of the Middle Ob region under the influence of intensive oil production]. *Al'manakh sovremennoy nauki i obrazovaniya* [Almanach of modern science and education], 2007, no. 6, pp. 77–82.
- [10] Danchenko A.M., Bekh I.A. *Kedrovyye lesa Zapadnoy Sibiri* [Cedar forests of Western Siberia]. Tomsk: Tomsk State University, 2010, 424 p.
- [11] Debkov N.M., Kartashova T.Yu., Zalesova E.S., Belov L.A., Opletaev A.S., Timerbulatov F.T. *Nekotoryye aspekty posledstviy osvvetleniy v kedrovyykh kul'turakh* [Some aspects of the consequences of clarification in stone pine crops]. *Lesa Rossii i khozyaystvo v nikh* [Forests of Russia and the economy in them], 2018, iss. 3 (66), pp. 21–28.
- [12] Debkov N.M., Sidorenkov V.M. *Dinamika energii semenosheniya kedrovnikov, sformirovannykh rubkami ukhoda* [Energy dynamics of seed production of stone pine forests formed by thinning]. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya* [Forestry Information], 2019, no. 1, pp. 89–100.
- [13] Panevin B.C., Vorob'ev V.N., Paramonov E.G., Isakov I.P., Korotkov I.A., Sadikov N.A., Semechkin I.V., Skorokhodov S.N. *Optimizatsiya ispol'zovaniya i vosproizvodstva resursov* [Optimization of the use and reproduction of resources]. *Problemy kedra* [Problems of cedar]. Tomsk: Tomsk Scientific Center SO AN USSR, 1989, 158 p.

- [14] Sekerin E.M., Zalesov S.V., Yurovskikh E.V., Magasumova A.G. *Sozdanie lesnykh kul'tur kedra sibirskogo na zabroshennykh sel'skokhozyaystvennykh ugod'yakh* [Creation of forest cultures of Siberian cedar on abandoned agricultural lands]. *Lesotekhnicheskie universitety v realizatsii kontseptsii vozrozhdeniya inzhenernogo obrazovaniya: sotsial'no-ekonomicheskie i ekologicheskie problemy lesnogo kompleksa* [Forestry Universities in the implementation of the concept of the revival of engineering education: socio-economic and environmental problems of the forest complex], 2015, v. 10, pp. 255–257.
- [15] *Prikaz Minprirody Rossii ot 04.12.2020 № 1014 «Ob utverzhenii Pravil lesovosstanovleniya, sostava proekta lesovosstanovleniya, poryadka razrabotki proekta lesovosstanovleniya i vneseniya v nego izmeneniy»* (Zaregistrirvano v Minyuste Rossii 18.12.2020 № 61556) [Order of the Ministry of Natural Resources of Russia dated December 4, 2020 No. 1014 «On approval of the Rules for reforestation, the composition of the reforestation project, the procedure for developing a reforestation project and making changes to it» (Registered with the Ministry of Justice of Russia on December 18, 2020, no. 61556)]
- [16] *Prikaz Minprirody Rossii ot 25.03.2019 № 188 «Ob utverzhenii Pravil lesovosstanovleniya, sostava proekta lesovosstanovleniya, poryadka razrabotki proekta lesovosstanovleniya i vneseniya v nego izmeneniy»* (Zaregistrirvano v Minyuste Rossii 14.05.2019 № 54614) [Order of the Ministry of Natural Resources of Russia dated March 25, 2019 No. 188 «On approval of the Rules for reforestation, the composition of the reforestation project, the procedure for developing a reforestation project and making changes to it» (Registered with the Ministry of Justice of Russia on May 14, 2019, no. 54614)]
- [17] Vorob'ev V.N. *Kedrovka i ee vzaimosvyazi s kedrom sibirskim (opyt kolichestvennogo analiza)* [Kedrovka and its relationship with the Siberian pine (experiment of quantitative analysis)]. Novosibirsk: Nauka, 1982, 114 p.
- [18] Sedykh V.N. *Lesoobrazovatel'nyy protsess* [Forest formation process]. Novosibirsk: Nauka, 2009, 164 p.
- [19] Tantsirev N.V., Sannikov S.N. *Analiz konsortivnykh svyazey mezhdru sosnoy sibirskoy i kedrovkoy na Srednem Urale* [Analysis of consortative relationships between Siberian pine and nutcracker in the Middle Urals]. *Ekologiya* [Ecology], 2011, no. 1, pp. 20–24.
- [20] Stashkevich N.Yu., Shishkin A.S. *Zoogenny faktor vozobnovleniya sosny kedrovoy sibirskoy v gorno-taizhnykh lesakh Vostochnogo Sayana* [Zoogenic factor of Siberian stone pine regeneration in the mountain taiga forests of the Eastern Sayan]. *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal* [Siberian Ecological Journal], 2014, no. 2, pp. 313–318.
- [21] Debkov N.M., Zalesov S.V., Opletaev A.S. *Obespechennost' osinnikov sredney taygi podrostom predvaritel'noy generatsii (na primere Tomskoy oblasti)* [Provision of aspen forests in the middle taiga with undergrowth of preliminary generation (on the example of the Tomsk region)]. *Agrarnyy vestnik Urala* [Agrarian Bulletin of the Urals], 2015, no. 12 (142), pp. 48–53.
- [22] Debkov N.M., Opletaev A.S. *O stepeni izuchennosti konsortivnykh svyazey kedrovki tonkoklyuvoy Nucifraga caryocatactes L. i sosny sibirskoy Pinus sibirica Du Tour.* [On the degree of study of consortative relationships of the nutcracker *Nucifraga caryocatactes* L. and Siberian pine *Pinus sibirica* Du Tour.]. *Les Rossii i khozyaystvo v nikh* [Forests of Russia and the economy in them], 2017, no. 1 (60), pp. 12–18.
- [23] Chitorkin V.V. *Sostoyanie i rost starovozrastnykh kul'tur kedra sibirskogo v Zapadnoy Sibiri* [Status and growth of old-growth Siberian stone pine crops in Western Siberia]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry], 2008, no. 4, pp. 38–40.
- [24] Babich N.A., Khamitov R.S., Khamitova S.M. *Selektsiya i semennaya reproduktsiya kedra sibirskogo* [Selection and seed reproduction of the Siberian stone pine]. Vologda-Molochnoe: VGMHA, 2014, 154 p.
- [25] Bratilova N.P., Luzganov A.G., Svalova A.I. *Rost sosny kedrovoy sibirskoy biryusinskogo proiskhozhdeniya pri vysokoy somkhnutosti pologa drevostoya* [Growth of the Siberian stone pine of Biryusa origin with high canopy density]. *Plodovodstvo, semenovodstvo, introduktsiya drevesnykh rasteniy* [Fruit growing, seed production, introduction of woody plants]. Krasnoyarsk: Sib. state aerospace un-t, 2016, pp. 8–11.
- [26] Matveeva R.N., Butorova O.F., Kolosovskiy E.V. *Vliyaniye somkhnutosti pologa drevostoya na rost kul'tur sosny kedrovoy sibirskoy (uchastok «Gornyy 2»)* [Influence of canopy density on the growth of Siberian stone pine crops (Gorny 2 site)]. Krasnoyarsk: SibGU im. M.F. Reshetneva, 2020, 208 p.
- [27] *Prikaz Minprirody Rossii ot 29.12.2021 № 1024 «Ob utverzhenii Pravil lesovosstanovleniya, formy, sostava, poryadka soglasovaniya proekta lesovosstanovleniya, osnovaniy dlya otказа v ego soglasovanii, a takzhe trebovaniy k formatu v elektronnoy forme proekta lesovosstanovleniya»* (Zaregistrirvano v Minyuste Rossii 11.02.2022 № 67240) [Order of the Ministry of Natural Resources of Russia dated December 29, 2021, no. 1024 «On approval of the Rules for reforestation, the form, composition, procedure for approving a reforestation project, the grounds for refusing to approve it, as well as requirements for the format in the electronic form of a reforestation project» (Registered with the Ministry of Justice of Russia February 11, 2022, no. 67240)].

Authors' information

Osipenko Aleksey Evgen'evich — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Forestry Department of the Ural State Forestry University, osipenkoae@m.usfe.ru

Belov Leonid Aleksandrovich — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Forestry Department of the Ural State Forestry University, belovla@m.usfeu.ru

Bashegurov Konstantin Andreevich — pg. of the Forestry Department of the Ural State Forestry University

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

Received 26.12.2022.

Approved after review 23.01.2023.

Accepted for publication 18.07.2023.

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 МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА РОСТ КУЛЬТУР ЕЛИ С ЗАКРЫТОЙ КОРНЕВОЙ СИСТЕМОЙ

А.И. Белова¹, Е.В. Лебедев², Р.С. Хамитов¹✉

¹ФГБОУ ВО «Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н.В. Верещагина», Россия, 160555, Вологодская обл., муниципальное образование «Город Вологда», с. Молочное, ул. Шмидта, д. 2

²ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный агротехнологический университет», Россия, 603107, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, д. 97

r.s.khamtov@mail.ru

Приведены результаты оценки роста пяти- и семилетних культур ели европейской в Грязовецком районе Вологодской области, созданных одно- и двухлетними сеянцами с закрытой корневой системой с улучшенными наследственными свойствами. Отмечено, что в исследуемых семилетних культурах доля ели в составе насаждения достигает четырех единиц, а в пятилетних — от двух до четырех единиц. Показано, что естественное возобновление лиственных пород благодаря своевременному освещению расположено преимущественно в междурядьях и, к настоящему времени, не угнетает культивируемые растения. Выявлено, что для всех обследуемых участков характерна тенденция увеличения ежегодного прироста терминального побега, а также снижение уровня его флуктуации с возрастом. Корреляционное отношение ($\eta = 0,85$) свидетельствует о высокой зависимости прироста осевого побега от года его образования. Показано, что метеорологические факторы оказывают влияние на рост культур ели, созданных сеянцами с закрытой корневой системой в фазе их индивидуального роста. Установлено, что наибольшее влияние оказывают сумма активных температур вегетационного периода, осадки, относительная влажность воздуха в мае и июне и средняя температура воздуха в дневные часы. При этом показано, что рост осевых побегов усиливается при увеличении количества дней с осадками в мае, но снижается при их увеличении в июне. Значительная положительная зависимость прироста отмечена от относительной влажности воздуха в мае, однако повышенная влажность воздуха в июне приводит к снижению роста культур ели.

Ключевые слова: ель европейская, лесные культуры, сеянцы с закрытой корневой системой, метеорологические факторы

Ссылка для цитирования: Белова А.И., Лебедев Е.В., Хамитов Р.С. Влияние метеорологических условий на рост культур ели с закрытой корневой системой // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 5. С. 100–108. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-5-100-108

Совершенствование искусственного лесовосстановления требует обеспечения лесокультурного производства качественным посадочным материалом, обладающим наилучшим потенциалом роста. Достижение такой цели возможно в результате выращивания сеянцев, которые обеспечивают успешный рост их корневой системы после посадки на лесокультурную площадь [1–3]. Эта проблема решается с помощью внедрения современной технологии выращивания сеянцев с закрытой корневой системой (ЗКС) в специальных тепличных комплексах. Такой посадочный материал выращивается, как правило, в течение одного года и позволяет не только обеспечить потребности лесовосстановления, но и внести качественные изменения в лесокультурное дело [4].

Преимущество этих сеянцев заключается в возможности их посадок в течение всего вегетационного периода, что обусловлено снижением стресса после пересадки [5–7]. Корневые системы сеянцев находятся в контейнерах с питательной

средой, защищающей их при пересадке от каких-либо повреждений. Кроме того, корневая система хорошо развита и обладает большим количеством всасывающих корней, способствующих поглощению питательных веществ и воды после пересадки [8–11]. Сеянцы, выращенные в контейнерах, при посадке на участках с недостаточным увлажнением приживаются лучше по сравнению с сеянцами, выращенными с открытой корневой системой, поскольку окружающий корневые системы субстрат содержит некоторое количество влаги. Ее запас в субстрате увеличивает период безполивного содержания сеянцев как при хранении, так и при транспортировке. Сеянцы, формирующиеся в контейнерах, отличаются оптимальным соотношением массы надземных органов и корней [12–15], что также способствует росту и приживаемости посадочного материала [15–22]. Наряду с этим имеются данные, что такой посадочный материал не оказывает значительного влияния на эти показатели [23–26]. Сеянцы, выращенные в открытом грунте, отличаются зимостойкостью и морозостойкостью [27].

Повышенный отпад сеянцев с ЗКС происходит вследствие нарушения технологии посадки [28]. Выращиваемые в течение одного вегетационного периода сеянцы с ЗКС могут отличаться меньшими размерами, чем сеянцы, выращенные в открытом грунте [29, 30]. Однако применение сеянцев с ЗКС, меньших по размеру, нежели выращенных в открытом грунте, не влияет на рост лесных культур, поскольку на начальных этапах они имеют преимущества в скорости роста [17]. К тому же увеличение сроков посадки дает возможность сократить затраты на лесокультурное производство.

На выращивание сеянцев в контейнерах требуются значительные средства [31], поэтому при посадке их густоту снижают до 2 тыс. шт./га [32]. Такой прием в сочетании с усилиями, направленными на увеличение количества выращиваемых сеянцев в специализированном тепличном комплексе САУ ЛХ ВО «Вологдалесхоз», позволил существенно повысить долю создаваемых посадкой сеянцев с ЗКС культур до 18 % и увеличить общую площадь ежегодного искусственного лесовосстановления на землях лесного фонда Вологодской области. Кроме того, применение технологии точечного посева в кассеты при выращивании сеянцев позволило сократить расход дорогостоящих семян, заготавливаемых на лесосеменных плантациях, и увеличить долю выращивания посадочного материала с улучшенными наследственными свойствами, необходимого для повышения качества, производительности и устойчивости лесных культур [33]. Применение такого селекционного посадочного материала для создания насаждений искусственного происхождения при условии их соответствия местным лесорастительным условиям является одним из важных путей сохранения генофонда основных лесобразующих пород [33]. К началу 2020-х годов посадкой сеянцев с ЗКС создано значительное количество культур ели, причем возраст растений на некоторых участках уже достигает 5–7 лет, что позволяет дать детальную оценку проделанной работе.

Исследования показали зависимость изменчивости роста естественного возобновления и лесных культур хвойных пород от метеорологических условий вегетационного периода [34–38]. Снижение послепосадочного стресса и, возможно, в некоторой степени, влияние почвенных условий на рост культур ели, саженцы которой выращены с ЗКС, по нашему мнению, определяет выявление уровня влияния метеорологических условий на рост терминального побега таких культур как актуальное.

Цель работы

Цель работы — оценка роста культур ели европейской, созданных сеянцами с ЗКС в фазе их

индивидуального роста, в зависимости от погодных условий в период образования терминального побега.

Объекты и методика исследований

Объекты исследований представляют собой культуры ели европейской (*Picea abies* (L.) H. Karst.) в Грязовецком районе Вологодской области, произрастающие в кислых условиях. Это искусственные насаждения, созданные посадкой одно- и двухлетних сеянцев ели европейской с ЗКС, выращенных из семян с улучшенными наследственными свойствами. Вспашку осуществляли плугом ПЛ-1 в агрегате с трактором ТДТ-55. Расстояние между рядами составляло: 4,5 м (участок № 1), 3,5 м (участок № 2) и 3 м (участки № 3 и № 4), а шаг посадки — 1,4; 1,6 и 2,1 м соответственно. Посадка сеянцев проводилась вручную с помощью посадочной трубы «Pottiputki». За лесными культурами своевременно осуществлялся лесоводственный уход, заключающийся в удалении естественного возобновления лиственных пород.

Для определения таксационных показателей лесных культур, осуществляли закладку пробных площадей. Размеры пробных площадей определяли, обеспечивая представленность не менее 400 экземпляров растений культивируемой породы на исследуемом участке. Измерение высоты стволиков растений проводилось с помощью мерной рейки, а диаметр стволиков у шейки корня — штангенциркулем. Измерение приростов осевых побегов за пять последних календарных лет осуществляли при помощи стальной линейки

Результаты и обсуждение

В исследуемых семилетних культурах доля ели в составе насаждения достигает четырех ед., в пятилетних — от двух до четырех ед. Естественное возобновление лиственных пород благодаря своевременному осветлению располагается преимущественно в междурядьях и ко времени проведения исследования не угнетает культивируемые растения. К семилетнему возрасту средняя высота культур составляла 139 см, средний диаметр ствола у шейки корня — 2,2 см. Лесные культуры достигли существенно большей высоты, определяемой по достижении ими восьмилетнего возраста, при отнесении их к землям, на которых расположены леса (табл. 1).

Наибольшей средней высоты к пятилетнему возрасту достигли искусственные насаждения на пробной площади № 3 (84 см), наименьшей — на участке № 4 (57 см). Средний диаметр стволика культивируемых растений варьирует от 1,0 до 1,4 см. На пробной площади № 2 отмечен наибольший средний диаметр стволиков (1,4 см), на участке № 4 — наименьший (1,0 см).

Т а б л и ц а 1

Характеристика посадок ели европейской
Characteristics of European spruce plantings

№ п/п	Возраст культур, лет	Возраст сеянцев при посадке, лет	Исходная густота, тыс. шт./га	Сохранность, %	Состав насаждения	Средняя высота стволика, см	Средний диаметр стволика, см
1	7	1	2000	68	4Е3Ос2Олс1Б	139 ± 3	2,2 ± 0,2
2	5	2	2042	82	4Е1Е*1С3Ос1Б+Ив	79 ± 1	1,4 ± 0,1
3	5	2	2081	71	2Е1Е*5Б1Ив1Олс	84 ± 2	1,3 ± 0,1
4	5	2	2081	98	4Е5Ив1Б	57 ± 1	1,0 ± 0,1

*Ель естественного происхождения (самосев).

Т а б л и ц а 2

Прирост осевого побега ели в культурах
Spruce axial shoot growth in the crops

Номер пробной площади	Прирост в высоту по календарным годам, см				
	2017	2018	2019	2020	2021
1	14,1 ± 1,4	17,6 ± 1,7	20,3 ± 1,7	26,5 ± 2,4	32,5 ± 2,7
2	8,5 ± 0,7	11,7 ± 0,8	15,8 ± 1,0	25,8 ± 1,0	24,4 ± 1,2
3	6,9 ± 0,8	11,1 ± 0,8	14,9 ± 1,2	23,3 ± 1,7	27,4 ± 1,8
4	3,8 ± 0,3	7,0 ± 0,5	9,7 ± 0,8	17,3 ± 1,0	18,3 ± 1,0

Т а б л и ц а 3

Изменчивость биометрических показателей лесных культур, созданных сеянцами с закрытой корневой системой (V, %)

Variability of biometric indices of forest crops created by seedlings with root-balled tree system (V, %)

Номер пробной площади	Средняя высота стволика	Диаметр стволика у шейки корня	Изменчивость прироста терминального побега в высоту по календарным годам				
			2017	2018	2019	2020	2021
1	36	37	48	46	41	43	41
2	32	24	53	50	45	26	36
3	34	29	57	37	42	37	34
4	33	20	32	36	42	29	26

Т а б л и ц а 4

Зависимость прироста апикального побега ели в культурах от календарного года его образования

Dependence of spruce apical shoot growth in crops on the calendar year of its formation

Источник вариации	Дисперсия SS	Степень свободы df	Варианса MS	Критерий Фишера	
				F _ф	F ₀₅
Между группами	874,2	4	218,6	10,0	3,1
Внутри групп	327,8	15	21,9	–	–
Итого:	1202,1	19	–	–	–

Для исследуемых искусственных насаждений характерна тенденция увеличения ежегодного прироста терминального побега, что свидетельствует об отсутствии у культивируемых растений существенных затруднений в росте. Максимальный средний прирост наблюдался в 2021 г., наименьший — в 2017 г. (табл. 2).

Максимальная изменчивость по высоте стволиков культивируемых растений отмечена в семилетних культурах — коэффициент вариации $V = 36\%$, наименьшая в пятилетних — на участке № 2 ($V = 32\%$). В целом уровень изменчивости по шкале С.А. Мамаева — высокий (табл. 3). На пробной площади № 1 наблюдалась наибольшая изменчивость по диаметру стволика лесных культур ($V = 37\%$), на участке № 2 — наименьшая

Т а б л и ц а 5

Метеорологические показатели за годы образования апикальных побегов**Meteorological indicators for the years of apical shoot formation**

Показатель	2017	2018	2019	2020	2021
Число дней с осадками за год, сут	100	95	98	103	99
Число дней с осадками в мае, сут	6	6	6	12	7
Число дней с осадками в июне, сут	11	7	8	5	3
Количество осадков в мае, мм	44	56	32	137	65
Количество осадков в июне, мм	129	43	51	61	31
Число пасмурных дней, сут	240	209	217	211	198
Число ясных дней за год, сут	25	61	50	52	68
Число ясных дней в июне, сут	2	7	8	12	7
Средняя температура воздуха в дневные часы в июне, °С	15	18	21	20	25
Сумма активных температур выше +10 °С, °С	1592	2107	1814	2020	2036,5
Относительная влажность воздуха, %	941	886	923	930	918
Относительная влажность воздуха в мае, %	61	62	60	71	67
Относительная влажность воздуха в июне, %	74	67	64	67	61

($V = 20\%$). При наибольшей флуктуации высоты и диаметра стволика растений на пробной площади № 1 характерной особенностью была их низкая сохранность (68 %) и, напротив, на пробных площадях № 2 и № 4 — высокая. На пробных площадях № 2 и № 4 в период 2020–2021 гг. вариация прироста была низкой и сохранность составила 82 и 98 % соответственно, что указывает на отсутствие выраженных факторов, лимитирующих рост и снижающих сохранность.

Таким образом, снижение уровня флуктуации прироста терминального побега с возрастом характерно для всех исследуемых участков. Изменчивость интенсивности прироста указывает на значительное положительное влияние проводимых осветлений, а также на успешную адаптацию высаженных на лесокультурную площадь растений.

Влияние возраста (календарного года его образования) на прирост растений по высоте оценено с помощью дисперсионного анализа (табл. 4).

Влияние фактора года образования побега на величину его прироста достоверно на 5%-м уровне значимости ($F_{\Phi} = 10,0 > F_{05} = 3,1$). Этим фактором обусловлено 73 % общей дисперсии признака. Корреляционное отношение ($\eta = 0,85$) свидетельствует о высокой зависимости прироста апикального побега от года его образования.

Рост апикального побега зависит не только от возраста растений, но и от метеорологических условий. Наиболее полную оценку их влияния на рост ели в культурах можно дать в результате детального анализа различных метеорологических показателей, в частности гидротермических факторов (табл. 5).

Т а б л и ц а 6

Метеорологические показатели и их связь с показателем роста апикальных побегов за годы их образования**Meteorological parameters and their relationship with the growth rate of apical shoots in the years of their formation**

Показатель	Коэффициент корреляции r
Число дней с осадками в мае	0,52
Число дней с осадками в июне	-0,80
Количество осадков в мае	0,52
Количество осадков в июне	-0,55
Число ясных дней в июне	0,59
Средняя температура воздуха в дневные часы в июне	0,74
Сумма активных температур выше +10 °С	0,51
Относительная влажность воздуха в мае	0,70
Относительная влажность воздуха в июне	-0,64

Ввиду того, что рост апикальных побегов происходит весной и в начале лета, особое внимание при проведении исследований было уделено показателям метеорологических условий в мае и июне (табл. 6).

Результаты корреляционного анализа указывают на то, что рост апикальных побегов усиливается при увеличении количества дней с осадками в мае, а также их объема, однако снижается при их увеличении в июне. В первый летний месяц прирост апикального побега увеличивается при ясной погоде. В это же время проявляется положительное влияние средней температуры воздуха

в дневные часы. Сумма активных температур вегетационного периода также умеренно связана с ростом осевого побега. Значительная положительная зависимость отмечена от относительной влажности воздуха в мае, однако в июне эта связь носит обратный характер.

Выводы

Метеорологические факторы существенно влияют на рост культур ели, созданных сеянцами с ЗКС в фазе их индивидуального роста. Наибольшее влияние оказывают сумма активных температур вегетационного периода, осадки, относительная влажность воздуха в мае и июне и средняя температура воздуха в дневные часы. При этом рост апикальных побегов усиливается при увеличении количества дней с осадками в мае, однако снижается при их увеличении в июне. Значительная положительная зависимость отмечена от относительной влажности воздуха в мае, при этом повышенная влажность воздуха в июне приводит к снижению роста культур ели.

Список литературы

- Grossnickle S.C., MacDonald J.E. Why seedlings grow: influence of plant attributes // *New Forests*, 2018, no. 9, pp. 1–34.
- Сабиров А.М., Файзрахманов Д.И., Газизов Р.А., Минниханов А.Р. Значение выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой в лесоразведении и лесовосстановлении // *Вестник Казанского государственного аграрного университета*, 2016. Т. 11. № 1(39). С. 58–61.
- Братилова Н.П., Коротков А.А., Коновалова Д.А. Влияние субстрата на рост и развитие сеянцев сосны кедровой сибирской с закрытой корневой системой // *Хвойные бореальной зоны*, 2022. Т. 40. № 5. С. 347–352.
- Morkovina S.S., Kunickaya O.A., Dolmatova L.G., Markov O.B., Nguyen V.L., Baranova T.U., Shadrina S.S., Grin'ko O. Comparative Analysis of Economic Aspects of Growing Seedlings with Closed and Open Root Systems // *The Experience of Russia*, 2021, no. 1, pp. 19–26.
- Repac I., Belko M., Krajmerova D., Paule L. Planting time, stocktype and additive effects on the development of spruce and pine plantations in Western Carpathian Mts. // *New Forests*, 2021, no. 52, pp. 449–472.
- Banach J., Małek S., Kormanek M., Durlo G. Growth of *Fagus sylvatica* L. and *Picea abies* (L.) Karst. seedlings grown in hiko containers in the first year after planting // *Sustainability*, 2020, no. 12(17), p. 7155.
- Мерзленко М.Д., Бабич Н.А. Теория и практика искусственного лесовосстановления. Архангельск: Изд-во САФУ, 2011. 239 с.
- Wilson E.R., Vitols K.C., Park A. Root characteristics and growth potential of container and bare-root seedlings of red oak (*Quercus rubra* L.) in Ontario, Canada // *New Forests*, 2007, no. 34, pp. 163–176.
- Ajuna H.B. Biological control of leaf blight disease caused by *pestalotiopsis maculans* and growth promotion of *Quercus acutissima* carruth container seedlings using *Bacillus velezensis* CE 100 // *Int. J. Mol. Sci.*, 2021, no. 22, p. 11296.
- Волотович А.А., Поплавская Л.Ф., Ребко С.В., Тулик П.В. Сравнительные показатели роста сортовых сеянцев сосны обыкновенной с ЗКС // *Лесное хозяйство: Тез. 82-й науч.-техн. конф. с междунар. участием*, Минск, 01–14 февраля 2018 г. Минск: Изд-во БГТУ, 2018. С. 56.
- Бобушкина С.В., Сеньков А.О., Файзулин Д.Х. Практика выращивания лесного посадочного материала с закрытой корневой системой применительно к тепличным комплексам Архангельской области // *Вопросы лесной науки*, 2020. Т. 3. № 4. С. 1–16.
- Narayana H., Tobita H., Kitao M., Kon H. Enhanced summer planting survival of Japanese larch container-grown seedlings // *Forests*, 2021, no. 12, p. 1115.
- Grossnickle S.C., El-Kassaby Y.A. Bareroot versus container stocktypes: a performance comparison // *New Forests*, 2016, no. 47, pp. 1–51.
- Авдеева Е.В., Ровных Н.Л., Иванов Д.В., Сухенко Н.В., Кухар И.В., Калинин М.Д. Российский и мировой опыт выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой // *Хвойные бореальной зоны*, 2022. Т. XL. № 4. С. 250–258.
- Трегубов О.В., Лактионов А.П., Мизин Ю.А., Комарова О.В., Похваленко В.А. Опыт создания лесных культур с закрытой корневой системой в зарубежных странах // *Астраханский вестник экологического образования*, 2022. № 4(70). С. 179–189.
- Евдокимов И.В., Хайдукова И.А., Карбасникова Е.Б. Сравнительная оценка роста лесных культур ели европейской, созданных различными технологиями // *Символ науки: междунар. науч. журн.*, 2018. № 9. С. 8–11.
- Петухов И.Н. Лесоводственная эффективность создания лесных культур сеянцами с закрытой корневой системой в условиях Костромской области // *Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник*, 2011. № 3. С. 33–35.
- Жигунов А.В., Данилов Д.А., Шестакова Т.А., Неворовский В.Ю. Влияние вида посадочного материала на рост насаждений ели и сосны на постагрогенных землях северо-запада России // *Вестник Поволжского государственного технологического университета*. Серия: Лес. Экология. Природопользование, 2016. № 3(31). С. 30–39.
- Мочалов Б.А., Бобушкина С.В. Состояние и рост лесных культур сосны и ели, созданных из посадочного материала с открытыми и закрытыми корнями в средней и северной подзонах тайги Архангельской области // *Тр. Санкт-Петербургского науч.-исслед. ин-та лесного хозяйства*. 2016. № 1. С. 64–71.
- Гладинов А.Н., Коновалова Е.В., Содбоева С.Ч. Сравнительные результаты использования сеянцев сосны обыкновенной с открытой и закрытой корневой системой при искусственном лесовосстановлении в условиях Западного Забайкалья // *Успехи современного естествознания*, 2021. № 11. С. 7–12.
- Граник А.М., Крук Н.К. Рост лесных культур сосны обыкновенной в зависимости от сроков посадки и вида посадочного материала // *Труды БГТУ*. Серия 1. Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов, 2018. № 2(210). С. 85–90.
- Юренин А.В., Якимов Н.И. Использование сеянцев с закрытой корневой системой для биологической рекультивации иловых прудов УП «Минскводоканал» // *Труды БГТУ*. Серия 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов, 2022. № 1(252). С. 53–57.
- Проказин Н.Е., Родин С.А., Казаков В.И., Лобанова Е.Н., Казаков И.В. Совершенствование технологий выращивания посадочного материала и лесовосстановле-

- ния на горельниках // Лесохозяйственная информация, 2019. № 3. С. 38–47.
- [24] Хватов П.В., Голубев М.А., Рыжова Н.В., Шутов В.В. Эффективность культур ели, созданных посадочным материалом с закрытой корневой системой в условиях Костромской области // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика, 2018. Т. 6, № 3(39). С. 44–49.
- [25] Кабанова С.А., Кабанов А.Н., Хасенов А.А., Данченко М.А. Научное сопровождение производственных опытов в лесных культурах зеленого пояса г. Нур-Султан // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство, 2019. Т. 14. № 4. С. 437–452.
- [26] Гоф, А.А., Жигулин Е.В., Залесов С.В. Причины низкой приживаемости сеянцев сосны обыкновенной с закрытой корневой системой в ленточных борах Алтая // Успехи современного естествознания, 2019. № 12. С. 9–13.
- [27] Бессчетнов В.П., Бессчетнова Н.Н., Клишина Л.И., Храмова О.Ю., Быченкова Т.Н., Горелова З.В., Соколова А.А. и др. Пигментный состав хвои сеянцев сосны обыкновенной с открытой и закрытой корневой системой // Вестник Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии, 2014. Т. 4. С. 36–51.
- [28] Гоф А.А., Жигулин Е.В., Залесов С.В., Оплетев А.С. Опыт создания лесных культур сеянцами с закрытой корневой системой на гарях Алтайского края // Международный научно-исследовательский журнал, 2019. № 12–2(90). С. 125–130.
- [29] Бессчетнов В.П., Бессчетнова Н.Н., Клишина Л.И., Храмова О.Ю., Быченкова Т.Н., Горелова З.В., Соколова А.А., Кентбаев Е.Ж., Кентбаева Б.А., Шабалина М.В. Морфометрические параметры сеянцев сосны с открытой и закрытой корневой системой // Вестник Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии, 2014. Т. 4. С. 52–67.
- [30] Ананьев Е.М., Залесов С.В., Луганский Н.А. и др. Опыт выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой в Алтайском крае // Аграрный вестник Урала, 2017. № 8(162). С. 4–9.
- [31] Трегубов О.В., Лактионов А.П., Мизин Ю.А., Комарова О.В., Пилипенко В.Н., Похваленко В.А. Опыт создания лесных культур с закрытой корневой системой в степной и лесостепной зонах юга Российской Федерации // Астраханский вестник экологического образования, 2022. № 5(71). С. 203–211.
- [32] Карбасникова Е.Б., Карбасников А.А., Хайдукова И.А. Лесоводственная оценка роста лесных культур ели, созданных различным видом посадочного материала // Евразийский союз ученых, 2021. № 4–7(85). С. 12–18.
- [33] Хамитов Р.С., Бабич Н.А., Енальский А.П. Изменчивость качества семян ели на лесосеменной плантации в зоне интрогрессивной гибридизации. Вологда; Молочное: Изд-во Вологодской государственной молочнохозяйственной академии им. Н.В. Верещагина, 2017. 132 с.
- [34] Тетерин А.А. Влияние аномальных погодных явлений на рост и развитие лиственницы сибирской // Аграрный вестник Урала, 2012. № 11–1 (103). С. 58–59.
- [35] Ананьев Е.М., Залесов С.В., Луганский Н.А., Шубин Д.А., Осипенко А.Е. Опыт выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой в Алтайском крае // Аграрный вестник Урала, 2017. № 8 (162). С. 4–9.
- [36] Сироткин Ю.Д., Праходский А.Н. Сезонный рост ели в подпологовой культуре // Лесоведение и лесное хозяйство: респ. межвед. сб. Вып. 5. Минск: Вышэйшая школа, 1972. С. 36–43.
- [37] Турчина Т.А., Банникова О.А. Роль погодных условий в эффективности искусственного лесовосстановления на песках Казанско-Вешенского массива // Агроэкология, мелиорация и защитное лесоразведение: Материалы Междунар. науч.-практ. конф., Волгоград, 18–20 октября 2018 г. Волгоград: Изд-во Федерального научного центра агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук, 2018. С. 208–212.
- [38] Нигматуллин И.С. Прирост древесных пород в зависимости от метеорологических и гидрологических условий // Вопросы лесной биогеоэкологии, экологии и охраны природы в степной зоне, 1977. Вып. 2. С. 49–56.

Сведения об авторах

Белова Анастасия Ивановна — аспирант кафедры лесного хозяйства, ФГБОУ ВО «Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н.В. Верещагина», belovanastia2017@yandex.ru

Лебедев Евгений Валентинович — д-р с.-х. наук, профессор кафедры лесных культур, ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный агротехнологический университет», g.s.khamtov@mail.ru

Хамитов Ренат Салимович — д-р с.-х. наук, профессор кафедры лесного хозяйства, ФГБОУ ВО «Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н.В. Верещагина», g.s.khamtov@mail.ru

Поступила в редакцию 14.04.2023.

Одобрено после рецензирования 02.06.2023.

Принята к публикации 18.07.2023.

INFLUENCE OF METEOROLOGICAL CONDITIONS ON SPRUCE CROPS GROWTH WITH ROOT-BALLED TREE SYSTEM

A.I. Belova¹, E.V. Lebedev², R.S. Khamitov¹✉

¹Vologda State Dairy Academy named after N.V. Vereshchagin, 2, Shmidt st., Vologda, 160555, Molochnoe village, Russia

²Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, 97, Gagarin av., 603107, Nizhny Novgorod, Russia

r.s.khamitov@mail.ru

The assessment results of the five- and seven-year-old European spruce crops growth in the Gryazovetsky district of the Vologda region, created by one- and two-year-old seedlings with a root-balled tree system with improved hereditary properties, are presented. It is noted that in the studied seven year-old crops, the proportion of spruce in the plantation composition reaches four points, and in five-year-old — from two to four points. Natural renewal of hardwoods due to timely clearing is located mainly in the inter-row spacings and, by now, does not depress cultivated plants. All the surveyed sites are characterized by a tendency to increase the annual growth of terminal shoot, as well as a decrease in the level of its fluctuation with age. The correlation ratio ($\eta = 0,85$) indicates a high dependence of the growth of the axial shoot on the year of its formation. It is shown that meteorological factors influence the growth of spruce crops created by seedlings with a root-balled tree system in the phase of their individual growth. The greatest influence is the sum of the active temperatures of the growing season, precipitation, relative humidity in May and June and the average air temperature in the daytime. At the same time, the growth of axial shoots increases with an increase in the number of days with precipitation in May, but decreases with their increase in June. A significant positive dependence of the increase was noted on the relative humidity of the air in May, however, increased humidity in June leads to a decrease in the growth of spruce crops.

Keywords: European spruce, forest crops, seedlings with a closed root system, meteorological factors

Suggested citation: Belova A.I., Lebedev E.V., Khamitov R.S. *Vliyanie meteorologicheskikh usloviy na rost kul'tur eli s zakrytoy kornevoy sistemoy* [Influence of meteorological conditions on spruce crops growth with root-balled tree system]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2023, vol. 27, no. 5, pp. 100–108. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-5-100-108

References

- [1] Grossnickle S. C., MacDonald J. E. Why seedlings grow: influence of plant attributes. *New Forests*, 2018, no. 49, pp. 1–34.
- [2] Sabirov A.M., Fayzrakhmanov D.I., Gazizov R.A., Minnikhanov A.R. *Znachenie vyrashchivaniya posadochnogo materiala s zakrytoy kornevoy sistemoy v lesorazvedenii i lesovosstanovlenii* [The importance of growing planting material with a closed root system in afforestation and reforestation]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Kazan State Agrarian University], 2016, v. 11, no. 1 (39), pp. 58–61.
- [3] Bratilova N.P., Korotkov A.A., Konovalova D.A. *Vliyanie substrata na rost i razvitie seyantsev sosny kedrovoy sibirskoy s zakrytoy kornevoy sistemoy* [Influence of the Substrate on the Growth and Development of Seedlings of the Siberian Cedar Pine with a Closed Root System]. *Khvoynye boreal'noy zony* [Conifers of the boreal zone], 2022, v. 40, no. 5, pp. 347–352.
- [4] Morkovina S.S., Kunickaya O.A., Dolmatova L.G., Markov O.B., Nguyen V.L., Baranova T.U., Shadrina S.S., Grin'ko O. Comparative Analysis of Economic Aspects of Growing Seedlings with Closed and Open Root Systems // *The Experience of Russia*, 2021, no. 1, pp. 19–26.
- [5] Repac I., Belko M., Krajmerova D., Paule L. Planting time, stocktype and additive effects on the development of spruce and pine plantations in Western Carpathian Mts. *New Forests*, 2021, no. 52, pp. 449–472.
- [6] Banach J., Malek S., Kormanek M., Durlo G. Growth of *Fagus sylvatica* L. and *Picea abies* (L.) Karst. seedlings grown in hiko containers in the first year after planting. *Sustainability*, 2020, no. 12(17), p. 7155.
- [7] Merzlenko M.D., Babich N.A. *Teoriya i praktika iskusstvennogo lesovosstanovleniya* [Theory and practice of artificial reforestation]. Arkhangel'sk: NArFU, 2011, 239 p.
- [8] Wilson E.R., Vitols K.C., Park A. Root characteristics and growth potential of container and bare-root seedlings of red oak (*Quercus rubra* L.) in Ontario, Canada // *New Forests*, 2007, no. 34, pp. 163–176.
- [9] Ajuna H.B. Biological control of leaf blight disease caused by *pestalotiopsis maculans* and growth promotion of *Quercus acutissima* carruth container seedlings using *Bacillus velezensis* CE 100 // *Int. J. Mol. Sci.*, 2021, no. 22, p. 11296.
- [10] Volotovich A.A., Poplavskaya L.F., Rebko S.V., Tupik P.V. *Sravnitel'nye pokazateli rosta sortovykh seyantsev sosny obyknovennoy s ZKS* [Comparative indicators of growth of varietal seedlings of Scotch pine with ZKS]. *Lesnoe khozyaystvo: Tez. 82-y nauch.-tekhn. konf. s mezhdunar. uchastiem* [Forestry: tez. 82nd Scientific and Technical. conf. with international participation], Minsk, February 01–14, 2018. Minsk: Publishing house of BSTU, 2018, p. 56.
- [11] Bobushkina S.V., Sen'kov A.O., Fayzulin D.Kh. *Praktika vyrashchivaniya lesnogo posadochnogo materiala s zakrytoy kornevoy sistemoy primenitel'no k teplichnym kompleksam Arkhangel'skoy oblasti* [The practice of growing forest planting material with a closed root system in relation to greenhouse complexes of the Arkhangel'sk region]. *Voprosy lesnoy nauki* [Questions of forest science], 2020, v. 3, no. 4, pp. 1–16.
- [12] Harayama, H., Tobita H., Kitao M., Kon H. Enhanced summer planting survival of Japanese larch container-grown seedlings // *Forests*, 2021, no. 12, p. 1115.
- [13] Grossnickle S.C., El-Kassaby Y.A. Bareroot versus container stocktypes: a performance comparison // *New Forests*, 2016, no. 47, pp. 1–51.
- [14] Avdeeva E.V., Rovnykh N.L., Ivanov D.V., Sukhenko N.V., Kukhar I.V., Kalinin M.D. *Rossiyskiy i mirovoy opyt vyrashchivaniya posadochnogo materiala s zakrytoy kornevoy sistemoy* [Russian and world experience in growing planting material with a closed root system]. *Khvoynye boreal'noy zony* [Conifers of the boreal zone], 2022, v. XL, no. 4, pp. 250–258.

- [15] Tregubov O.V., Laktionov A.P., Mizin Yu.A., Komarova O.V., Pokhvalenko V.A. *Opyt sozdaniya lesnykh kul'tur s zakrytoy kornevoy sistemoy v zarubezhnykh stranakh* [Experience in creating forest plantations with a closed root system in foreign countries]. *Astrakhanskiy vestnik ekologicheskogo obrazovaniya* [Astrakhan Bulletin of Ecological Education], 2022, no. 4(70), pp. 179–189.
- [16] Evdokimov I.V., Khaydukova I.A., Karbasnikova E.B. *Sravnitel'naya otsenka rosta lesnykh kul'tur eli evropeyskoy, sozdannykh razlichnymi tekhnologiyami* [Comparative assessment of the growth of European spruce forest cultures created by various technologies]. *Simvol nauki: mezhdunarodnyy nauchnyy zhurnal* [Symbol of Science: International Scientific Journal], 2018, no. 9, pp. 8–11.
- [17] Petukhov I.N. *Lesovodstvennaya effektivnost' sozdaniya lesnykh kul'tur seyantsami s zakrytoy kornevoy sistemoy v usloviyakh Kostromskoy oblasti* [Silvicultural efficiency of creating forest crops by seedlings with a closed root system in the conditions of the Kostroma region]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2011, no. 3, pp. 33–35.
- [18] Zhigunov A.V., Danilov D.A., Shestakova T.A., Neverovskiy V.Yu. *Vliyaniye vida posadochnogo materiala na rost nasazhdeniy eli i sosny na postagrogennykh zemlyakh severo-zapada Rossii* [Influence of the type of planting material on the growth of spruce and pine plantations on post-agrogenic lands in the north-west of Russia]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie* [Bulletin of the Volga State Technological University. Series: Forest. Ecology. Nature Management], 2016, no. 3(31), pp. 30–39.
- [19] Mochalov B.A., Bobushkina S.V. *Sostoyaniye i rost lesnykh kul'tur sosny i eli, sozdannykh iz posadochnogo materiala s otkrytymi i zakrytymi kornyami v sredney i severnoy podzonakh taygi Arkhangel'skoy oblasti* [Status and growth of forest plantations of pine and spruce, created from planting material with open and closed roots in the middle and northern subzones of the taiga of the Arkhangel'sk region]. *Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo khozyaystva* [Proceedings of the St. Petersburg Research Institute of Forestry], 2016, no. 1, pp. 64–71.
- [20] Gladinov A.N., Konovalova E.V., Sodboeva S.Ch. *Sravnitel'nye rezul'taty ispol'zovaniya seyantsev sosny obyknovennoy s otkrytoy i zakrytoy kornevoy sistemoy pri iskusstvennom lesovosstanovlenii v usloviyakh Zapadnogo Zabaykal'ya* [Comparative results of the use of Scotch pine seedlings with open and closed root systems in artificial reforestation in the conditions of Western Transbaikalia]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Successes of modern natural science], 2021, no. 11, pp. 7–12.
- [21] Granik A.M., Kruk N.K. *Rost lesnykh kul'tur sosny obyknovennoy v zavisimosti ot srokov posadki i vida posadochnogo materiala* [The growth of forest cultures of Scotch pine depending on the timing of planting and the type of planting material]. *Trudy BGTU. Seriya 1: Lesnoe khozyaystvo, prirodopol'zovanie i pererabotka vozobnovlyаемых resursov* [Proceedings of BSTU. Series 1: Forestry, nature management and processing of renewable resources], 2018, no. 2(210), pp. 85–90.
- [22] Yurenya A.V., Yakimov N.I. *Ispol'zovanie seyantsev s zakrytoy kornevoy sistemoy dlya biologicheskoy rekul'tivatsii ilovykh prudov up «Minskvodokanal»* [The use of seedlings with a closed root system for the biological reclamation of silt ponds of the unitary enterprise «Minskvodokanal»]. *Trudy BGTU. Seriya 1: Lesnoe khozyaystvo, prirodopol'zovanie i pererabotka vozobnovlyаемых resursov* [Proceedings of BSTU. Series 1: Forestry, nature management and processing of renewable resources], 2022, no. 1(252), pp. 53–57.
- [23] Prokazin N.E., Rodin S.A., Kazakov V.I., Lobanova E.N., Kazakov I.V. *Sovershenstvovanie tekhnologiy vyrashchivaniya posadochnogo materiala i lesovosstanovleniya na gorel'nikakh* [Improving the technologies for growing planting material and reforestation on burnt areas]. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya* [Forestry Information], 2019, no. 3, pp. 38–47.
- [24] Khvatov P.V., Golubev M.A., Ryzhova N.V., Shutov V.V. *Effektivnost' kul'tur eli, sozdannykh posadochnym materialom s zakrytoy kornevoy sistemoy v usloviyakh Kostromskoy oblasti* [The effectiveness of spruce crops created by planting material with a closed root system in the conditions of the Kostroma region]. *Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika* [Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice], 2018, v. 6, no. 3(39), pp. 44–49.
- [25] Kabanova S.A., Kabanov A.N., Khasenov A.A., Danchenko M.A. *Nauchnoe soprovozhdeniye proizvodstvennykh opytov v lesnykh kul'turakh zelenogo poyasa g. Nur-Sultan* [Scientific support of production experiments in the forest cultures of the green belt of Nur-Sultan]. *Vestnik Rossiyskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Agronomiya i zhivotnovodstvo* [Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. Series: Agronomy and animal husbandry], 2019, v. 14, no. 4, pp. 437–452.
- [26] Gof A.A., Zhigulin E.V., Zalesov S.V. *Prichiny nizkoy prizhivaemosti seyantsev sosny obyknovennoy s zakrytoy kornevoy sistemoy v lentochnykh borakh Altaya* [Reasons for the low survival rate of Scots pine seedlings with a closed root system in the ribbon forests of Altai]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Successes of modern natural sciences], 2019, no. 12, pp. 9–13.
- [27] Besschetnov V.P., Besschetnova N.N., Klishina L.I., Khramova O.Yu., Bychenkova T.N., Gorelova Z.V., Sokolova A.A. et al. *Pigmentnyy sostav khvoi seyantsev sosny obyknovennoy s otkrytoy i zakrytoy kornevoy sistemoy* [Pigment composition of needles of Scotch pine seedlings with an open and closed root system]. *Vestnik NGSKhA*, 2014, v. 4, pp. 36–51.
- [28] Gof A.A., Zhigulin E.V., Zalesov S.V., Opletaev A.S. *Opyt sozdaniya lesnykh kul'tur seyantsami s zakrytoy kornevoy sistemoy na garyakh Altayskogo kraya* [Experience in creating forest crops with seedlings with a closed root system in the burned areas of the Altai Territory]. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal* [International Scientific Research Journal], 2019, no. 12–2 (90), pp. 125–130.
- [29] Besschetnov V.P., Besschetnova N.N., Klishina L.I., Khramova O.Yu., Bychenkova T.N., Gorelova Z.V., Sokolova A.A., Kentbaev E.Zh., Kentbaeva B.A., Shabalina M.V. *Morfometricheskie parametry seyantsev sosny s otkrytoy i zakrytoy kornevoy sistemoy* [Morphometric parameters of pine seedlings with an open and closed root system]. *Vestnik NGSKhA*, 2014, v. 4, pp. 52–67.
- [30] Anan'ev E.M., Zalesov S.V., Luganskiy N.A. *Opyt vyrashchivaniya posadochnogo materiala s zakrytoy kornevoy sistemoy v Altayskom krae* [Experience in growing planting material with a closed root system in the Altai Territory]. *Agrarnyy vestnik Urala* [Agrarian Bulletin of the Urals], 2017, no. 8(162), pp. 4–9.
- [31] Tregubov O.V., Laktionov A.P., Mizin Yu.A., Komarova O.V., Pilipenko V.N., Pokhvalenko V.A. *Opyt sozdaniya lesnykh kul'tur s zakrytoy kornevoy sistemoy v stepnoy i lesostepnoy zonakh yuga Rossiyskoy Federatsii* [Experience in creating forest plantations with a closed root system in the steppe and forest-steppe zones of the south of the Russian Federation]. *Astrakhanskiy vestnik ekologicheskogo obrazovaniya* [Astrakhan Bulletin of Ecological Education], 2022, no. 5(71), pp. 203–211.

- [32] Karbasnikova E.B., Karbasnikov A.A., Khaydukova I.A. *Lesovodstvennaya otsenka rosta lesnykh kul'tur eli, sozdannykh razlichnym vidom posadochnogo materiala* [Forestry assessment of the growth of spruce forest plantations created by various types of planting material]. *Evraziyskiy soyuz uchenykh* [Eurasian Union of Scientists], 2021, no. 4–7(85), pp. 12–18.
- [33] Khamitov R.S., Babich N.A., Enal'skiy A.P. *Izmenchivost' kachestva semyan eli na lesosemennoy plantatsii v zone introgressivnoy gibridizatsii* [Variability in the quality of spruce seeds on a forest seed plantation in the zone of introgressive hybridization]. Vologda-Dairy: Vologda State Dairy Academy named after N.V. Vereshchagin, 2017, 132 p.
- [34] Teterin A.A. *Vliyaniye anomal'nykh pogodnykh yavleniy na rost i razvitie listvennitsy sibirskoy* [Influence of abnormal weather phenomena on the growth and development of Siberian larch]. *Agrarnyy vestnik Urala* [Agrarian Bulletin of the Urals], 2012, no. 11–1 (103), pp. 58–59.
- [35] Anan'ev E.M., Zalesov S.V., Luganskiy N.A., Shubin D.A., Osipenko A.E. *Opyt vyrashchivaniya posadochnogo materiala s zakrytoy kornevoy sistemoy v Altayskom krae* [Experience in growing planting material with a closed root system in the Altai Territory]. *Agrarnyy vestnik Urala* [Agrarian Bulletin of the Urals], 2017, no. 8 (162), pp. 4–9.
- [36] Sirotkin Yu.D., Prakhodskiy A.N. *Sezonnyy rost eli v podpologovoy kul'ture* [Seasonal growth of spruce in the undercover culture]. *Lesovedenie i lesnoe khozyaystvo: respublikanskiy mezhvedomstvennyy sbornik* [Forest science and forestry: republican interdepartmental collection]. Minsk: Higher School, 1972, iss. 5, pp. 36–43.
- [37] Turchina T.A., Bannikova O.A. *Rol' pogodnykh usloviy v effektivnosti iskusstvennogo lesovosstanovleniya na peskakh Kazansko-Veshenskogo massiva* [The role of weather conditions in the effectiveness of artificial reforestation on the sands of the Kazan-Veshensky massif]. *Agroekologiya, melioratsiya i zashchitnoe lesorazvedenie: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Agroecology, melioration and protective afforestation: materials of the International Scientific and Practical Conference], Volgograd, October 18–20, 2018. Volgograd: Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Aforestation of the Russian Academy of Sciences, 2018, pp. 208–212.
- [38] Nigmatullin I.S. *Prirost drevesnykh porod v zavisimosti ot meteorologicheskikh i gidrologicheskikh usloviy* [Growth of tree species depending on meteorological and hydrological conditions]. *Voprosy lesnoy biogeotsenologii, ekologii i okhrany prirody v stepnoy zone* [Questions of forest biogeocenology, ecology and nature conservation in the steppe zone], 1977, iss. 2, pp. 49–56.

Authors' information

Belova Anastasiya Ivanovna — pg., Vologda State Dairy Academy named after N.V. Vereshchagin, belovanastia2017@yandex.ru

Lebedev Evgeniy Valentinovich — Dr. Sci. (Agriculture), Professor, Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, r.s.khamtov@mail.ru

Khamitov Renat Salimovich✉ — Dr. Sci. (Agriculture), Professor, Vologda State Dairy Academy named after N.V. Vereshchagin, r.s.khamtov@mail.ru

Received 14.04.2023.

Approved after review 02.06.2023.

Accepted for publication 18.07.2023.

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

СИГМОИДНЫЕ ФУНКЦИИ В МОДЕЛИРОВАНИИ ХОДА РОСТА ПО ВЫСОТЕ КУЛЬТУР СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ

Е.Е. Иванова✉, Н.А. Бабич

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

e.e.ivanova@narfu.ru

Приведены результаты анализа и применимости сигмоидных функций для изучения хода роста культур сосны обыкновенной на территории северотаежного района европейской части Российской Федерации в черничном типе условий местопроизрастания. Предложена вычислительная процедура поиска моделей хода роста лесных культур. Модель хода роста отображает связь возраста и высоты дерева и в своем описании содержит сигмоидные функции хода роста. Сигмоидные функции отобраны для каждой из пяти фаз роста и развития древостоя в результате регрессионного анализа. В общем виде модель хода роста культур сосны обыкновенной в черничниках северотаежного района европейской части Российской Федерации представляет систему уравнений, созданную на основе уравнений Вейбулла, Дракина — Вуевского и Ричардса.

Ключевые слова: ход роста дерева, моделирование, сигмоидная функция хода роста, культуры сосны обыкновенной, математическая модель

Ссылка для цитирования: Иванова Е.Е., Бабич Н.А. Сигмоидные функции в моделировании хода роста по высоте культур сосны обыкновенной // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 5. С. 109–116. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-5-109-116

Географическая обширность проведения искусственного лесовосстановления не позволяет создать общероссийскую конкретную модель роста культивируемых пород. Исследования в этом направлении ведутся постоянно и обусловлены запросами практики и развитием компьютерных технологий, позволяющих в самое короткое время обработать многочисленные исходные данные. В современном исследовании древостоев ключевой задачей стал поиск закономерностей хода роста культивируемого растения через математическое описание. Данные исследования имеют большое прикладное и теоретическое значение, поскольку позволяют применять методы математического моделирования в прогнозировании развития насаждения. Методы математического моделирования широко применяются в различных областях. С их помощью можно делать долгосрочные прогнозы и осуществлять корректировку текущих мероприятий. Отсюда и развитие лесоводственной науки также имеет направление изучения закономерностей хода роста с помощью математического моделирования. Фундаментальные разработки в этой области были сделаны еще в середине XX в. В настоящее время во многих экспериментальных исследованиях получены результаты применения найденных математических закономерностей [1, 2], основанных на биологическом росте организмов.

Биологический ход роста культивируемого растения описывается *s*-образной кривой или, иначе говоря, сигмоидной кривой. Графическое представление кривой хода роста имеет три фазы. В первой фазе кривая хода роста графически может быть описана уравнением экспоненциальной функции, это фаза интенсивного роста. Во второй фазе наблюдается снижение роста в высоту, однако идет интенсивный рост дерева по диаметру ствола, вторая фаза может быть описана логарифмической функцией. Изначально *s*-образная кривая применялась для составления прогнозов изменения скорости роста населения [3]. Позднее с помощью *s*-образной кривой описывались законы развития различных систем в широком смысле и изучались экономические процессы [4].

Математический анализ сигмоидных функций хода роста, выполненный нами ранее, показал, что в качестве модельных функций для изучения хода роста древостоя в высоту могут быть применены модели, основанные на следующих уравнениях [5]:

$$y = \frac{a}{1 + be^{-cx}} \text{ (логистическое уравнение) [3];}$$

$$y = ae^{\frac{b}{x^c}} \text{ (уравнение Шумахера) [6];}$$

$$y = ae^{\frac{b}{x}} \text{ (уравнение Теразаки) [7];}$$

$$y = ax^b e^{-cx} \text{ (уравнение Коллера) [8].}$$

Кроме четырех указанных выше модельных функций для исследования хода роста нами были включены модели, которые ранее использовались для исследования хода роста древостоя в высоту относительно времени [9–12]:

$$y = \frac{a}{(1 + e^{-bx})^d} \text{ (уравнение Ричардса) [13];}$$

$$y = ae^{-be^{-cx}} \text{ (уравнение Гомперца) [14];}$$

$$y = a(1 - e^{-bx})^c \text{ (уравнение Дракина —}$$

Вуевского) [15];

$$y = a - be^{-cx^d} \text{ (уравнение Вейбулла) [16].}$$

В исследовании хода роста необходимо учитывать жизненный цикл лесных культур, который разбивается на последовательные фазы роста и развития. Основателями теории по дифференциации культур по фазам роста и развития являются Н.П. Кобранов [17] и В.В. Огиевский [18]. Существуют различные подходы к дифференциации древостоев, созданных искусственным образом [19].

Наше исследование проводилось с учетом пяти фаз роста и развития культур сосны обыкновенной:

- 1) фазы приживания (1–3 года);
- 2) индивидуального роста или фазы, предшествующей смыканию (4–10);
- 3) смыкания (11–15 лет);
- 4) чащи (16 лет и до 20 лет);
- 5) жердняка (примерно к 25 годам; окончание фазы соответствует периоду, когда объем ствола превышает 2,0 см).

Цель работы

Цель работы — поиск моделей хода роста лесных культур на примере искусственных древостоев сосняка черничного северотаежного района европейской части Российской Федерации с учетом фаз роста и развития.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования служили посадки сосны обыкновенной, произрастающие на территории бывших Онежского и Холмогорского лесхозов, в черничном типе условий местопроизрастания. Сосняк черничный распространен в северотаежном районе европейской части РФ.

Для получения достоверных результатов использовали данные, собранные на 33 пробных площадях. Камеральная обработка, полученных данных проводилась на основании методических указаний [20, 21], а также с учетом ГОСТов и полевого справочника таксатора [22, 23]. На каждой пробной площади фиксировались таксационные показатели, возраст и средняя высота деревьев.

Для обоснования модели хода роста использовали 103 исходные точки, полученные в результате проведения авторских натурных исследований и обобщения архивных данных, имеющихся на кафедре ландшафтной архитектуры и искусственных лесов Высшей школы естественных наук и технологий, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (САФУ), а также литературные данные [24–26].

Подбор моделей хода роста по высоте осуществлялся в два этапа.

На первом этапе проводили анализ отобранных сигмоидных моделей хода роста. С помощью программы «CurveExpert Professional 2.4.0» выполнили расчет параметров моделей хода роста. Точность аппроксимирующих моделей хода роста установили на основе стандартной ошибки и коэффициента детерминации. Успешной считалась модель, которая соответствовала следующим требованиям:

- модель объясняла не менее 90 % вариаций зависимости переменной, т. е. $R^2 > 0,9$;
- стандартная ошибка оценки модели должна иметь минимальное отклонение от линии регрессии, т. е. $S < 1$.

Далее на основе полученных параметров аппроксимирующих моделей были сделаны прогнозные модели хода роста культур до 25 лет.

На втором этапе выполняли сравнительный анализ прогнозных моделей с экспериментальными данными по фазам роста и развития культур, что позволило отобрать прогнозные модели, оценки надежности которых удовлетворяют успешности модели.

Результаты и обсуждение

Для анализа хода роста культур использовались сигмоидные функции хода роста, используемые при моделировании роста деревьев, где в описании в качестве переменной x используется возраст древостоя или отдельного дерева, a, b, c, d — параметры уравнения, y — таксационный показатель древостоя.

На математическом языке связь, представленная в описании сигмоидной функции, означает функциональную зависимость, в которой каждому значению аргумента x (возрасту) соответствует определенное значение величины y (таксационного показателя древостоя, к которому могут относиться высота дерева, диаметр ствола, запас дерева и т. п.). Зависимость величины x (возраста) описывается определенным законом. Другим способом представления функции является графическое описание зависимости, т. е. ход роста может быть описан графиком функции, представляющей собой s -образную кривую. В общем случае график функции описывает семейство кривых,

Т а б л и ц а 1

Параметры сигмоидных функций хода роста

Sigmoidal functions parameters of growth progress

Название функции	Математическое выражение	Параметр			
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>
Уравнение Гомперца	$y = ae^{-be^{-cx}}$	5,22	1,64	0,13	–
Уравнение Вейбулла	$y = a - be^{-cx^d}$	3,87	3,69	0,0005	2,87
Уравнение Ричардса	$y = \frac{a}{(1 + e^{-bx})^{\frac{1}{d}}}$	3,81	5,18	0,38	1,47
Уравнение Шумахера	$y = ae^{-\frac{b}{x^c}}$	95,7	10,35	0,38	–
Уравнение Теразаки	$y = ae^{-\frac{b}{x}}$	9,21	18,99	–	–
Уравнение Коллера	$y = ax^b e^{-cx}$	0,007	2,66	0,08	–
Уравнение Дракина — Вуевского	$y = a(1 - e^{-bx})^c$	6,58	0,08	2,69	–
Логистическое уравнение	$y = \frac{a}{1 + be^{-cx}}$	3,98	41,72	0,3	–

содержащих многообразную информацию исходя из характера параметров *a*, *b*, *c* и т. п., входящих в состав функциональной зависимости.

Для представленных выше функциональных зависимостей хода роста параметры *a*, *b*, *c*, *d* свидетельствуют о характере кривой хода роста:

– параметр *a* — о растяжении графика функции вдоль оси *Oy* на коэффициент *a*;

– параметр *b* — о смещении графика функции вдоль оси *Ox* на коэффициент *b*;

– параметр *c* — о сжатии или смещении графика функции вдоль оси *Ox* и приближении к оси *Oy* при увеличении *|c|*;

– параметр *d* для уравнений, в которые данный параметр включен, имеет разное описание. Так, в уравнении Вейбулла параметр *d* характеризует сжатие графика функции относительно точки перегиба, что означает резкий биологический рост древостоя или отдельного дерева с его увеличением. При $d \rightarrow -\infty$ наблюдается медленный рост древостоя или отдельного дерева. В уравнении Ричардса параметр *d* указывает на характер скорости возрастания хода роста до фазы спелости или затухание в росте в высоту.

По исходным данным проведен регрессионный анализ в соответствии с предлагаемыми сигмоидными функциями (табл. 1, рис. 1).

Моделирование хода роста культур и использование полученных сигмоидных функций с параметрами (см. табл. 1), позволили прийти к выводу, что не все модели хода роста можно применять на практике. Модели на основе уравнений Шумахера, Коллера и Теразаки показали неудовлетворительный результат. Модель на основе уравнения Шумахера продемонстрировала резкий рост культур начиная с возраста 2 года.

Т а б л и ц а 2

Статистика ошибок моделирования хода роста культур сосны обыкновенной по высоте

Statistics of errors in modelling the height progress of the pine crop growth rate

Модель хода роста, созданная на основе уравнение	Стандартная ошибка <i>S</i>	Коэффициент детерминации R^2
Уравнение Гомперца	0,449	0,901
Уравнение Вейбулла	0,447	0,903
Уравнение Ричардса	0,446	0,904
Уравнение Дракина—Вуевского	0,455	0,898
Логистическое уравнение	0,444	0,903

Модель на основе уравнения Теразаки отразила отсутствие динамики на всем возрастном периоде. Модель на основе уравнения Коллера начиная с возраста 42 лет показала отрицательную динамику — уменьшение высоты с увеличением возраста. В связи с этим модели, созданные на основе уравнения Шумахера, Коллера и Теразаки, были исключены из дальнейшего рассмотрения.

Впоследствии модели хода роста культур изучались на основе уравнений Гомперца, Вейбулла, Ричардса, Дракина — Вуевского и логистического уравнения. Данные уравнения определяются высоким коэффициентом детерминации R^2 и минимальной стандартной ошибкой *S*. Стандартная ошибка *S* для указанных моделей варьирует от 0,444 до 0,449, а коэффициент детерминации R^2 — от 0,898 до 0,904, что свидетельствует об успешности модели и удовлетворяет требованиям, предъявляемым к ее оценке (табл. 2).

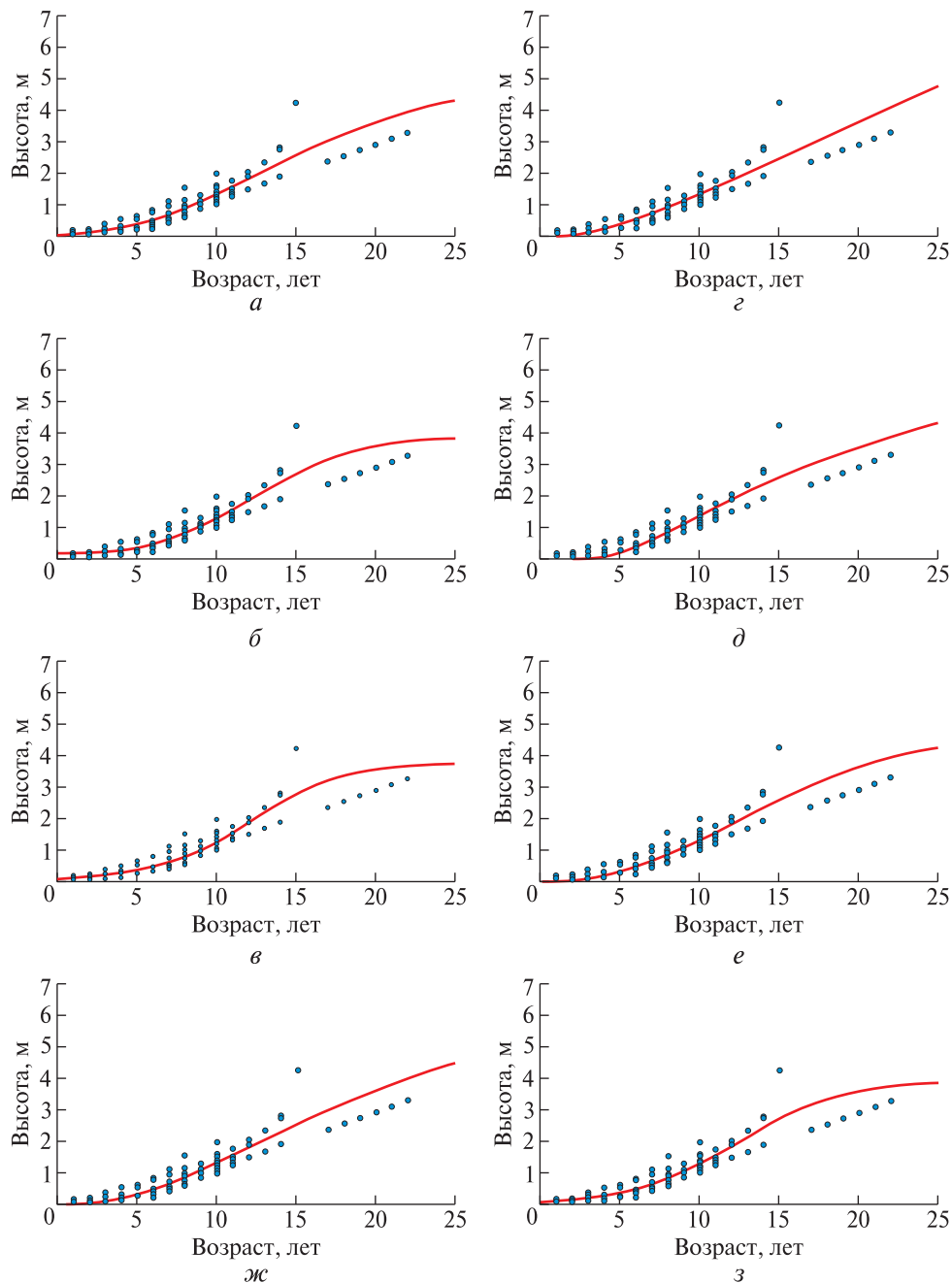


Рис. 1. Корреляция исходных данных сосняка черничного — регрессионная кривая, построенная на основе: *a* — уравнения Гомперца; *б* — уравнения Вейбулла; *в* — уравнения Ричардса; *г* — уравнения Шумахера; *д* — уравнения Теразаки; *е* — уравнения Коллера; *ж* — уравнения Дракина — Вуевского; *з* — логистического уравнения

Fig. 1. Correlation of initial data of blueberry pine - regression curve based on: *a* — Gompertz equation; *б* — Weibull equation; *в* — Richards equation; *г* — Schumacher equation; *д* — Terazaki equation; *е* — Koller equation; *ж* — Drakin-Vuevskii equation; *з* — logistic equation

Следующим этапом в анализе моделей хода роста стало изучение среднего значения высоты в соответствующих возрастных фазах роста и развития, собранных на пробных площадях и данных, полученных в ходе моделирования. Анализ моделей проводился для пяти фаз роста и развития от 1 года до 25 лет. В указанных фазах выбраны оптимальные модели хода роста, моделируемые дан-

ные которых были близки к данным, собранным на пробных площадях по каждой фазе роста и развития.

При выравнивании полученных экспериментальных данных была предпринята попытка описать зависимость хода роста в высоту от времени с помощью уравнений Гомперца, Вейбулла, Ричардса, Дракина — Вуевского и логистического уравнения. По оценкам для каждой из пяти фаз

Т а б л и ц а 3

Сопоставимость прогнозных данных высоты, полученных в результате моделирования, с данными, собранными на пробных площадях

Comparability of predicted height data obtained from modelling with data collected from sample plots

Рост и развитие культур		Средняя высота, по данным, собранным на пробных площадях, м	Модель, созданная на основе уравнений	Прогнозные данные высоты, полученные на основе модели, м
Фаза	Интервал времени, лет			
Приживания	1...3	0,20	Уравнение Вейбулла	0,21
Индивидуального роста	4...10	0,81	Уравнение Дракина — Вуевского	0,71
Смыкания	11...15	1,97	Уравнение Дракина — Вуевского	2,16
Чащи	16...20	2,64	Уравнение Ричардса	3,32
Жердняка	21...25	3,20	Уравнение Ричардса	3,79

Т а б л и ц а 4

Параметры сигмоидных функций хода роста

Sigmoidal functions of growth progress parameters

Рост и развитие культур		Модель, созданная на основе уравнения	Параметр				Стандартная ошибка	Коэффициент детерминации
Фаза	Интервал времени, лет		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>		
Приживания	1...3	Уравнение Вейбулла	0,49	0,37	0,001	5,99	0,071	0,767
Индивидуального роста	4...10	Уравнение Дракина — Вуевского	104,91	0,02	2,29	-	0,296	0,914
Смыкания	11...15							
Чащи	16...20	Уравнение Ричардса	5,94	2,94	0,13	1,19	0,008	0,999
Жердняка	21...25							

роста и развития отобраны модели хода роста (табл. 3).

Результаты сравнительного анализа показывают, что моделирование хода роста описывается различными моделями для каждой фазы роста и развития. Нами уточнены параметры каждой отобранной модели с учетом фазы роста и развития (табл. 4). Успешность отобранных моделей хода роста для каждой фазы роста и развития подтверждается данными полученных статистических оценок модельных древостоев.

Ход роста посадок сосны обыкновенной, произрастающих на территории бывшего Онежского и Холмогорского лесхозов в черничном типе условий местопроизрастания, описывается системой уравнений

$$H(t) = \begin{cases} 0,49 - 0,37e^{-0,001t^{5,99}}, & 1 \leq t \leq 3; \\ 104,91(1 - e^{-0,02t})^{2,29}, & 4 \leq t \leq 15; \\ \frac{5,94}{(1 + e^{2,94 - 0,13t})^{0,84}}, & 16 \leq t \leq 25, \end{cases}$$

где H — возраст древостоя, м;
 t — время, лет.

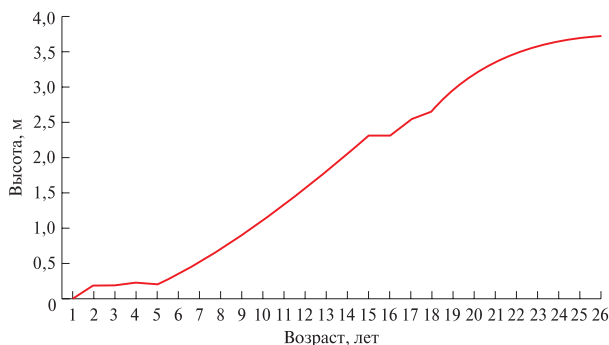


Рис. 2. Ход роста культур сосны обыкновенной, произрастающих на территории северотаежного района в черничном типе условий местопроизрастания

Fig. 2. The growth course of Scots pine growing on the territory of the northern taiga region in the bilberry type growing conditions

Получена математическая модель, отражающая закономерность роста культивируемых древостоев в различных фазах их роста и развития. Кривая роста сосняка черничного, полученная на основе системы уравнений по фазам роста и развития, удовлетворяет представлению *s*-образной кривой, которая описывает биологический рост растения (рис. 2).

График функции и математическая модель иллюстрирует (см. рис. 2):

– в интервале от 1 до 3 лет наблюдается медленный рост, в этом случае можно говорить либо о неблагоприятных условиях для произрастания культуры, либо о неудовлетворительном качестве посадочного материала;

– в интервале от 4 до 15 лет наблюдается интенсивный рост в высоту, что характерно для фазы интенсивного роста;

– в интервале от 16 до 25 лет рост культур сосны обыкновенной в высоту максимально может составить до 5,94 м.

Для сглаживания интервалов в промежуточных точках между фазами роста и развития графика функции в дальнейшем рекомендуется использовать метод интерполяции.

Выводы

Для исследуемой территории получена модель хода роста культур сосны обыкновенной, произрастающих в черничниках северотаежного района европейской части Российской Федерации.


Предлагаемая авторами модель содержит сигмоидные функции роста. Для описания хода роста культур сосны обыкновенной рекомендуется использовать модель, определяемую как систему уравнений, созданную на основе сигмоидных уравнений. Обсуждение результатов исследования показало, что модель хода роста культур сосны обыкновенной характеризуются достаточно высокими значениями коэффициента детерминации R^2 — от 0,767 до 0,999, а также небольшой величиной стандартной ошибки S — от 0,008 до 0,296.

Выявленные в ходе исследования модели хода роста культур сосны обыкновенной позволяют их использовать для изучения динамики роста и подтверждают их применимость для описания хода роста древостоев в высоту.

Список литературы

- [1] Полетаев И.А. О «формуле роста» Шмальгаузена // Известия СО АН СССР. Серия Биология, 1980. Т. 5, № 1. С. 3–9.
- [2] Братусь А.С., Новожилов А.С., Платонов А.П. Динамические системы и модели биологии. М.: Физматлит, 2010. 400 с.
- [3] Verhulst P-F. Notice sur la loi que la population poursuit dans son accroissement. [A note on population growth] // Correspondence Mathematiques et Physiques, 1838, v. 10, pp. 113–121.
- [4] Бережная Е.В., Бережной В.И. Математические методы моделирования экономических систем. М.: Финансы и статистика, 2003. 432 с.
- [5] Иванова Е.Е. Математический анализ функций хода роста по высоте лесных насаждений // Актуальные проблемы развития лесного комплекса: Материалы XX Междунар. науч.-техн. конф., Вологда, 6 декабря 2022 г. Вологда: Изд-во ВоГУ, 2022. С. 42–45.
- [6] Николаева И.О., Соловьев В.М. Классификация особей в хвойных насаждениях естественного происхождения для оценки их изменчивости // Успехи современного естествознания, 2019. № 12. С. 14–19.
- [7] Дубенок Н.Н., Лебедев А.В., Кузьмичев В.В. Изменение роста древостоев лиственницы в Москве по данным долговременных наблюдений // Российская сельскохозяйственная наука, 2022. № 3. С. 56–61.
- [8] Кузьмичев В.В. Закономерности роста древостоев. Новосибирск: Наука, 1977. 158 с.
- [9] Laar A van A. Das Wachstum von Pinus pinaster (Aiton) in Abhängigkeit vom Standraum // Forstw Cbl, 1985, v. 104, pp. 49–61. DOI:10.1007/BF02740703
- [10] Zhang L. Cross-validation of Non-linear Growth Functions for Modelling Tree Height–Diameter Relationships // Annals of Botany, 1997, v. 79, iss. 3, pp. 251–257.
- [11] Руссков В.Г. Тенденции и периодичности роста деревьев сосны по высоте: автореф. ... дис. канд. биол. наук: 06.03.02. Красноярск, Институт леса СО РАН, 2012. 20 с.
- [12] Luo J., Zhang M., Zhou X., Chen J., Tian Y. Tree Height and DBH Growth Model Establishment of Main Tree Species in Wuling Mountain Small Watershed. IOP Conference Series // Earth and Environmental Science, 2018, v. 108, iss. 4, pp. 1–5. DOI:10.1088/1755-1315/108/4/042003
- [13] Richards F.J. A Flexible Growth Function for Empirical Use // J. of Experimental Botany, 1959, v. 10, pp. 290–300. DOI:10.1093/jxb/10.2.290
- [14] Gompertz B. On the Nature of the Function Expressive of the Law of Human Mortality, and on a New Mode of Determining the Value of Life Contingencies // Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 1825, v. 115, pp. 513–583. URL: <http://www.jstor.com/stable/107756> (дата обращения 25.12.2022).
- [15] Дракин В.Н., Вуевский Д.И. Новая формула хода роста древостоев по высоте и диаметру и ее применение к исследованию зависимости между высотой и диаметром // Записки Белорусского лесотехнического ин-та, 1940. Вып. V. С. 3–37.
- [16] Weibull W. A statistical distribution of wide applicability // J. of Applied Mechanics, 1951, v. 18, pp. 293–297.
- [17] Кобранов Н.П. Обследование и исследование лесных культур // Труды по лесному опытному делу, 1930. Вып. VIII. С. 1–102.
- [18] Огиевский В.В., Хиров А.А. Обследование и исследование лесных культур. Л.: ЛенНИИЛХ, 1967. 51 с.
- [19] Мерзленко М.Д., Бабич Н.А. Теория и практика выращивания сосны и ели в культурах. Архангельск: Изд-во Архангельского ГТУ, 2002. 220 с.
- [20] Соколов Н.Н. Методические указания к дипломному проектированию по таксации пробных площадей. Архангельск: Изд-во РИО АЛТИ, 1978. 44 с.
- [21] Анучин Н.П. Лесная таксация. М.: Лесн.пром-сть, 1982. 552 с.
- [22] Полевой справочник таксатора: для таежных лесов Европейского Севера / под ред. В.И. Левина. Вологда: Северо-Западное книжное изд-во, 1971. 196 с.
- [23] ОСТ 56-69-83. Площади пробные лесоустroительные. Метод закладки: дата введения 1984-01-01. М.: Изд-во ЦБНТИ Гослесхоза СССР, 1984. 60 с.
- [24] Бабич Н.А., Мочалов Б.А. Лесные культуры в Архангельской области. М.: ЦБНТИлесхоз, 1982. 24 с.
- [25] Бабич Н.А., Беляев В.В. Рост и биологическая продуктивность культур сосны северной подзоны тайги европейского Севера // Лесоводство, лесоразведение, лесопользование: экспресс-информация. М.: Изд-во ЦБНТИлесхоз, 1985. Вып. 4. С. 16–21.
- [26] Ларин В.Б., Паутов Ю.А. Формирование хвойных молодняков на вырубках. Л.: Наука, 1989. 144 с.

Сведения об авторах

Иванова Елена Евгеньевна  — аспирант кафедры ландшафтной архитектуры и искусственных лесов Высшей школы естественных наук и технологий, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (САФУ), e.e.ivanova@narfu.ru

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

Поступила в редакцию 12.01.2023.

Одобрено после рецензирования 15.06.2023.

Принята к публикации 18.07.2023.

SIGMOID FUNCTIONS IN MODELING SCOTS PINE GROWTH COURSE IN HEIGHT

E.E. Ivanova , **N.A. Babich**

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

e.e.ivanova@narfu.ru

The results of the analysis and applicability of sigmoid functions for studying the Scots pine crops growth on the territory of the North taiga region of the European part of the Russian Federation in the blueberry type growing conditions are presented. A computational procedure for finding models of forest crop growth progress is proposed. The growth progress model reflects the relationship between age and height of a tree and contains sigmoidal growth progress functions in its description. Sigmoid functions were selected for each of the five growth phases and development of the stand as a result of regression analysis. In general, the model of the Scots pine crops growth course in bilberry forests of the northern taiga region of the European part of the Russian Federation represents a system of equations based on the Weibull, Drakin-Vuevskii and Richards equations.

Keywords: tree growth course, modeling, sigmoid function of growth course, Scots pine crops, mathematical model

Suggested citation: Ivanova E.E., Babich N.A. *Sigmoidnye funktsii v modelirovanii khoda rosta po vysote kul'tur sosny obyknovennoy* [Sigmoid functions in modeling Scots pine growth course in height]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2023, vol. 27, no. 5, pp. 109–116. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-5-109-116

References

- [1] Poletaev I.A. *O «formule rosta» Shmal'gauzena* [On Schmalhausen's «growth formula»]. *Izvestiya SO AN SSSR. Seriya Biologiya* [Proceedings of the Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences, series Biology], 1980, v. 5, no. 1, pp. 3–9.
- [2] Bratus' A.S., Novozhilov A.S., Platonov A.P. *Dinamicheskie sistemy i modeli biologii* [Dynamic systems and models of biology]. Moscow: Fizmatlit, 2010, 400 p.
- [3] Verhulst P-F. Notice sur la loi que la population poursuit dans son accroissement. [A note on population growth]. *Correspondence Mathematiques et Physiques*, 1838, v. 10, pp. 113–121.
- [4] Berezhnaya E.V., Berezhnoy V.I. *Matematicheskie metody modelirovaniya ekonomicheskikh sistem* [Mathematical methods for modeling economic systems]. Moscow: Finance and statistics, 2003, 432 p.
- [5] Ivanova E.E. *Matematicheskiy analiz funktsiy khoda rosta po vysote lesnykh nasazhdeniy* [Mathematical analysis of the functions of the course of growth along the height of forest plantations]. *Aktual'nye problemy razvitiya lesnogo kompleksa: materialy XX Mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii, Vologda, 6 dekabrya 2022 g.* [Actual problems of the development of the forest complex: materials of the XX International Scientific and Technical Conference], Vologda, December 6, 2022. Vologda: VSU, 2022, pp. 42–45.
- [6] Nikolaeva I.O., Solov'ev V.M. *Klassifikatsiya osobey v khvoynykh nasazhdeniyakh estestvennogo proiskhozhdeniya dlya otsenki ikh izmenchivosti* [Classification of individuals in coniferous plantations of natural origin to assess their variability]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Successes of modern natural sciences], 2019, no. 12, pp. 14–19.
- [7] Dubenok N.N., Lebedev A.V., Kuz'michev V.V. *Izmenenie rosta drevostoev listvennitsy v Moskve po dannym dolgovremennykh nablyudeni* [Changes in the growth of larch stands in Moscow according to long-term observations]. *Rossiyskaya sel'skokhozyaystvennaya nauka* [Russian Agricultural Science], 2022, no. 3, pp. 56–61.
- [8] Kuz'michev V.V. *Zakonomernosti rosta drevostoev* [Patterns of growth of forest stands]. Novosibirsk: Science, 1977, 158 p.
- [9] Laar A van A. Das Wachstum von Pinus pinaster (Aiton) in Abhängigkeit vom Standraum. *Forstw Cbl*, 1985, v. 104, pp. 49–61. DOI:10.1007/BF02740703
- [10] Zhang L. Cross-validation of Non-linear Growth Functions for Modelling Tree Height–Diameter Relationships. *Annals of Botany*, 1997, v. 79, iss. 3, pp. 251–257.

- [11] Russkov V.G. *Tendentsii i periodichnosti rosta derev'ev sosny po vysote* [Tendencies and periodicity of growth of pine trees in height]. Dis. Cand. Sci. (Biol.): 06.03.02. Krasnoyarsk: Forest Institute SB RAS, 2012, 20 p.
- [15] Drakin V.N., Vuvskiy D.I. *Novaya formula khoda rosta drevostoev po vysote i diametru i ee primeneniye k issledovaniyu zavisimosti mezhdu vysotoy i diametrom* [A new formula for the course of growth of forest stands in height and diameter and its application to the study of the relationship between height and diameter]. Zapiski Belorusskogo lesotekhnicheskogo in-ta [Notes of the Belarusian Forestry Institute], 1940, iss. V, pp. 3–37.
- [16] Weibull W. A statistical distribution of wide applicability. J. of Applied Mechanics, 1951, v. 18, pp. 293–297.
- [17] Kobranov N.P. *Obsledovanie i issledovanie lesnykh kul'tur* [Survey and research of forest crops]. Trudy po lesnomu opytному delu [Proceedings on experimental forestry], 1930, iss. VIII, pp. 1–102.
- [18] Ogievskiy V.V., Khirov A.A. *Obsledovanie i issledovanie lesnykh kul'tur* [Inspection and research of forest crops]. Leningrad: LenNIILKh, 1967, 51 p.
- [19] 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: Publishing House of the Arkhangelsk State Technical University, 2002, 220 p.
- [20] Sokolov N.N. *Metodicheskie ukazaniya k diplomnomu proektirovaniyu po taksatsii probnykh ploshchadey* [Guidelines for graduation design on the taxation of trial plots]. Arkhangelsk: RIO ALTI, 1978, 44 p.
- [21] Anuchin N.P. *Lesnaya taksatsiya* [Forest taxation]. Moscow: Lesnaya prom-st, 1982, 552 p.
- [22] *Polevoy spravochnik taksatora: dlya taezhnykh lesov Evropeyskogo Severa* [Taxator's field guide: for the taiga forests of the European North]. Ed. V.I. Levin. Vologda: North-West book publishing house, 1971, 196 p.
- [23] OST 56-69-83 *Ploshchadi probnye lesoustroitel'nye. Metod zakladki* [Trial forest inventory areas. Bookmark method: introduction date 1984-01-01]. Moscow: TsBNTI Gosleskhoz USSR, 1984, 60 p.
- [24] Babich N.A., Mochalov B.A. *Lesnye kul'tury v Arkhangel'skoy oblasti* [Forest crops in the Arkhangelsk region]. Moscow: TsBNTILeskhoz, 1982, 24 p.
- [25] Babich N.A., Belyaev V.V. *Rost i biologicheskaya produktivnost' kul'tur sosny severnoy podzony taygi evropeyskogo Severa* [Growth and biological productivity of pine crops in the northern subzone of the taiga of the European North]. Lesovodstvo, lesorazvedeniye, lesopol'zovanie: ekspress-informatsiya [Silviculture, afforestation, forest management: express information]. Moscow: TsBNTILeskhoz, 1985, iss. 4, pp. 16–21.
- [26] Larin V.B., Pautov Yu.A. *Formirovaniye khvoynnykh molodnyakov na vyrubkakh* [Formation of coniferous young forests in clearings]. Leningrad: Nauka, 1989, 144 p.

Authors' information

Ivanova Elena Evgen'evna  — pg. of the Department of Landscape Architecture and Artificial Forests of the Higher School of Natural Sciences and Technologies, the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov (SAFU), e.e.ivanova@narfu.ru

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

Received 12.01.2023.

Approved after review 15.06.2023.

Accepted for publication 18.07.2023.

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

РОСТ И РАЗВИТИЕ СЕМЯН ДЕКОРАТИВНЫХ ДРЕВЕСНЫХ ВИДОВ В НИЗМЕННОМ ДАГЕСТАНЕ

Б.М. Магомедова

Горный ботанический сад Дагестанского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ГорБС ДФИЦ РАН), Россия, 367000, Республика Дагестан, г. Махачкала, ул. М. Гаджиева, д. 45

bary_m@mail.ru

Представлены некоторые особенности изучения начальных этапов онтогенеза древесных растений урбано-флоры г. Махачкалы: *Padus serotina* (Ehrh.) Agardh., *Fraxinus lanceolata* Borkh., *F. Americana* L., *Koelreuteria paniculata* Laxm., *Celtis glabrata* Steven ex Planch., *Acer pseudoplatanus* L., *A. Platanooides* L., *Maclura aurantiaca* Nutt., *Hibiscus syriacus* L., *Swida australis* C. A. Mey. Выявлена зависимость между динамикой фенологических фаз и степенью зимостойкости. Показано, что окончание ростовой активности и переход в состояние покоя до наступления периода отрицательных температур способствует лучшей устойчивости в зимний сезон. Обнаружена зависимость между зимостойкостью побегов и относительным приростом, т.е. чем более сильный был годичный прирост, тем наблюдался больший процент подмерзания от общей высоты семян. Результаты эксперимента подтверждают положения интродукционного метода климатических аналогов Г. Майра.

Ключевые слова: онтогенез, семена, Дагестан, зимостойкость, древесный вид

Ссылка для цитирования: Магомедова Б.М. Рост и развитие семян декоративных древесных видов в низменном Дагестане // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 5. С. 117–126.
DOI: 10.18698/2542-1468-2023-5-117-126

Зеленое строительство является важнейшей составной частью благоустройства городов. При подборе видов, используемых для озеленения, следует учитывать физико-географические условия озеленяемой территории, ареал произрастания данного вида в природе, функциональное назначение объекта озеленения [1–5]. Учет направленности ритмологических изменений в онтогенезе имеет большое значение для суждения о перспективности растений для произрастания в новых условиях. Сезонный ритм развития как показатель зимостойкости дает возможность рассматривать перспективность растений для интродукции, в сочетании с зимостойкостью и репродуктивными особенностями, является показателем соответствия растений новым условиям существования.

Репродуктивные особенности интродуцентов во многом зависят от степени соответствия их биологии новым условиям, в которые они перенесены. Именно это обстоятельство положено в основу изучения генеративного развития растений в процессе приспособления их к новым условиям среды. Возможность семенного размножения интродуцентов зависит от качества продуцируемых ими семян, поэтому показатели качества семян могут служить одним из критериев акклиматизации вида в новом районе.

Некоторые исследователи считают, что показателем успешности акклиматизации древесных

растений является семеношение всхожими семенами и способность видов давать семенное потомство в новых для них условиях [6].

Всхожесть семян — важная характеристика жизнеспособности видов, зависящая от множества эндогенных экологических факторов. Оценка всхожести важна для целей практического размножения интродуцированных растений.

Критическим периодом в жизни интродуцентов является развитие семян на начальном этапе онтогенеза [7–14]. Экологическая адаптивность ювенильных растений и их биометрические показатели варьируют в зависимости от условий биотопов. Изучение онтогенеза видов — один из наиболее перспективных путей выявления потенциальных и адаптивных возможностей интродуцированных видов растений [15].

Цель работы

Цель работы — сравнительное изучение динамики роста семян декоративных древесных видов, произрастающих в пределах г. Махачкалы, и проведение фенологических исследований.

Материалы и методы исследования

В качестве объектов исследования рассматриваются древесные виды из урбанофлоры г. Махачкалы, с которых были собраны и посеяны семена: *Padus serotina* (Ehrh.) Agardh., *Fraxinus lanceolata* Borkh., *F. Americana* L., *Koelreuteria paniculata* Laxm., *Celtis glabrata* Steven ex Planch.,

Acer pseudoplatanus L., *A. Platanoides* L., *Maclura aurantiaca* Nutt., *Hibiscus syriacus* L., *Cornus australis* C. A. Mey. Объем выборки семян с каждого вида составил 30 шт. Таксономический и географический анализ видов приведен в табл. 1.

Видовые названия даны по сводке С.К. Черепанова [16].

Фенологические наблюдения проведены по методике М.С. Александровой [17]. Измерения выполняли линейкой. Определяли среднее арифметическое значение X , его ошибку Sx , коэффициент вариации CV , % [18]. При оценке зимостойкости использовалась 6-балльная шкала [19]:

1 — особи не повреждаются;

2 — обмерзает до 25 % длины побега;

3 — обмерзает от 26 до 50 % длины побега;

4 — обмерзает от 51 до 75 % длины побега;

5 — обмерзает от 76 до 100 % длины побега (вся надземная часть);

6 — особь погибает полностью.

Для г. Махачкалы характерен климат полупустынь умеренного пояса:

– лето жаркое, со средней температурой воздуха выше +20 °С, причем дневной максимум достигает +38 °С и выше;

– зима мягкая, малоснежная, со средней дневной температурой от +1 до 3 °С, а ночью температура опускается ниже нуля;

– осадков выпадает от 250 до 450 мм в год и в течение года они распределяются неравномерно, максимум приходится на осенний период.

Опытный участок в г. Махачкале относится к Низменному Дагестану и расположен на высоте 100 м н. у. м. между 42°58'51" с. ш. и 47°22'04" в. д. Территория сложена песчано-глинистыми толщами морских каспийских осадочных пород. Преобладают юго-восточные и северо-западные ветры [20].

Результаты и обсуждение

Изучение всхожести семян и устойчивости ювенильных растений является важным условием интродукции видов. Оценка всхожести важна и для целей практического размножения интродуцированных растений. В целом, древесные виды характеризуются высокой лабораторной всхожестью семян (табл. 2).

Анализ роста и развития потомства семенного происхождения служит надежным методом проверки адаптивного потенциала вида [21]. При этом активизируется адаптационный процесс, семенное размножение усиливает устойчивость последующего поколения к неблагоприятным факторам среды (табл. 3, 4).

По высоте побега, образованного в течение вегетационного периода, изучаемые виды ранжированы на группы:

Т а б л и ц а 1

Таксономический и географический анализ древесных видов

Taxonomic and geographical analysis of tree species

Номер п/п	Вид	Происхождение, географический тип ареала (по Гроссгейму)
Сем. Розоцветные — Rosaceae Juss.		
1	Черемуха поздняя <i>Padus serotina</i> (Ehrh.) Agardh.	Северная Америка. Географический тип — североамериканский
Сем. Масличные — Oleaceae Lindl.		
2	Ясень зеленый <i>Fraxinus lanceolata</i> Borkh.	Северная Америка. Географический тип — североамериканский
3	Ясень белый <i>Fraxinus americana</i> L.	Северная Америка. Географический тип — североамериканский
Сем. Сапидовые — Sapindaceae Juss.		
4	Кельрейтерия метельчатая <i>Koelreuteria paniculata</i> Laxm.	Восточная Азия (Китай, Корея, Япония). Географический тип — восточноазиатский
Сем. Ильмовые — Ulmaceae Mirb.		
5	Каркас голый <i>Celtis glabrata</i> Steven ex Planch.	Кавказ, Юго-Вост. Европа. Географический тип — кавказский
Сем. Кленовые — Aceraceae Lindl.		
6	Клен ложноплатановый <i>Acer pseudoplatanus</i> L.	Украина, Кавказ, Зап. Европа. Географический тип — средневропейский горный
7	Клен остролистный <i>Acer platanoides</i> L.	Европ. часть России, Зап. Европа. Географический тип — европейский
Сем. Тутовые — Moraceae Lindl.		
8	Маклюра оранжевая <i>Maclura aurantiaca</i> Nutt.	Северная Америка. Географический тип — североамериканский
Сем. Мальвовые — Malvaceae Juss.		
9	Гибискус сирийский <i>Hibiscus syriacus</i> L.	Кавказ, Малая и Вост. Азия. Географический тип — кавказско-азиатский
Сем. Кизиловые — Cornaceae Link.		
10	Дерен южный, свидина <i>Swida australis</i> C. A. Mey.	Европ. ч. России, Крым, Кавказ; Мал. Азия. Географический тип — малоазиатский, средиземноморско-европейский

– побег высотой до 10 см (*P. serotina*, *A. platanoides*);

– побег высотой от 10 до 30 см (*F. lanceolata*, *K. paniculata*, *A. pseudoplatanus*, *H. syriacus*);

– побег высотой от 30 до 65 см (*C. glabrata*, *F. americana*, *M. aurantiaca*, *S. australis*) (см. табл. 2, 3).

Таблица 2

Всхожесть семян древесных видов, произрастающих в пределах г. Махачкалы, по лабораторным и полевым исследованиям

Seed germination of tree species growing within the city of Makhachkala according to laboratory and field studies

Номер п/п	Вид	Всхожесть, %					
		Данные лабораторных исследований		Данные полевых исследований			
		<i>X ± Sx</i>	<i>CV, %</i>	Осень		Весна	
		<i>X ± Sx</i>	<i>CV, %</i>	<i>X ± Sx</i>	<i>CV, %</i>	<i>X ± Sx</i>	<i>CV, %</i>
Сем. Розоцветные — Rosaceae							
1	<i>Padus serotina</i> (Ehrh.) Agardh.	85,0 ± 0,95	1,9	31,3 ± 1,86	10,3	58,6 ± 1,06	3,1
Сем. Масличные — Oleaceae							
2	<i>Fraxinus lanceolata</i> Borkh.	88,2 ± 1,16	2,3	67,2 ± 1,00	2,6	76,4 ± 1,21	2,8
3	<i>Fraxinus americana</i> L.	95,2 ± 1,13	2,1	72,1 ± 1,44	3,5	82,7 ± 1,63	3,4
Сем. Сапиндовые — Sapindaceae							
4	<i>Koelreuteria paniculata</i> Laxm.	91,1 ± 0,81	1,5	51,9 ± 1,50	5,0	61,3 ± 1,79	5,1
Сем. Ильмовые — Ulmaceae							
5	<i>Celtis glabrata</i> Steven ex Planch.	47,5 ± 1,07	3,9	19,7 ± 2,14	18,8	38,1 ± 1,33	6,0
Сем. Кленовые — Aceraceae							
6	<i>Acer pseudoplatanus</i> L.	82,6 ± 1,99	4,2	67,2 ± 1,13	2,9	70,7 ± 1,49	3,6
7	<i>Acer platanoides</i> L.	80,6 ± 2,39	5,13	65,2 ± 1,01	2,7	73,3 ± 1,08	2,5
Сем. Тутовые — Moraceae							
8	<i>Maclura aurantiaca</i> Nutt.	80,5 ± 1,09	2,4	30,9 ± 1,33	7,4	36,0 ± 0,66	3,1
Сем. Мальвовые — Malvaceae							
9	<i>Hibiscus syriacus</i> L.	94,1 ± 0,90	1,7	86,0 ± 1,41	2,8	73,0 ± 1,27	3,0
Сем. Кизиловые — Cornaceae							
10	<i>Swida australis</i> C. A. Mey.	78,6 ± 0,86	1,9	45,0 ± 1,04	4,0	63,3 ± 1,05	2,9

Таблица 3

Фенологический спектр роста и развития семян древесных видов за период с апреля по ноябрь в условиях г. Махачкалы

Phenological spectrum of growth and development of tree species seedlings for the period from April to November in Makhachkala

Номер п/п	Вид	Месяц, декада																																																								
		Апрель			Май			Июнь			Июль			Август			Сентябрь			Октябрь			Ноябрь																																			
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3																																	
1	<i>Padus serotina</i> (Ehrh.) Agardh.																																																									
2	<i>Fraxinus lanceolata</i> Borkh.																																																									
3	<i>Fraxinus americana</i> L.																																																									
4	<i>Koelreuteria paniculata</i> Laxm.																																																									
5	<i>Celtis glabrata</i> Steven ex Planch.																																																									
6	<i>Acer pseudoplatanus</i> L.																																																									
7	<i>Acer platanoides</i> L.																																																									
8	<i>Maclura aurantiaca</i> Nutt.																																																									
9	<i>Hibiscus syriacus</i> L.																																																									
10	<i>Swida australis</i> C. A. Mey.																																																									

Примечание. ■ Всходы ■ Первый лист ■ Опадение семядолей ■ Окончание роста побегов ■ Окончание вегетации

**Динамика роста сеянцев первого года жизни за период с апреля по сентябрь
в условиях г. Махачкалы**

Growth dynamics of first-year seedlings for the period from April to September in Makhachkala

Но- мер п/п	Виды растений	Апрель		Май		Июнь		Июль		Август		Сентябрь	
		$X \pm Sx$	CV, %	$X \pm Sx$	CV, %	$X \pm Sx$	CV, %	$X \pm Sx$	CV, %	$X \pm Sx$	CV, %	$X \pm Sx$	CV, %
1	<i>Padus serotina</i> (Ehrh.) Agardh.	2,1 ± 0,04	3,0	2,8 ± 0,08	9,48	3,3 ± 0,21	19,8	3,9 ± 0,26	21,5	3,9 ± 0,26	21,5	3,9 ± 0,26	21,5
2	<i>Fraxinus lanceolata</i> Borkh.	3,6 ± 0,06	3,6	7,6 ± 0,20	8,4	12,2 ± 0,37	9,7	17,0 ± 0,95	17,7	24,0 ± 0,95	12,5	29,9 ± 1,59	16,9
3	<i>Fraxinus americana</i> L.	5,4 ± 0,07	2,9	8,8 ± 0,15	5,5	14,6 ± 0,49	10,7	21,0 ± 1,04	15,6	26,9 ± 1,06	12,5	32,9 ± 1,69	16,3
4	<i>Koelreuteria paniculata</i> Laxm.	2,9 ± 0,08	7,4	3,5 ± 0,08	7,0	4,9 ± 0,41	26,2	9,5 ± 1,08	36,3	14,5 ± 1,07	23,5	21,4 ± 2,37	35,1
5	<i>Celtis glabrata</i> Steven ex Planch.	3,0 ± 0,07	5,4	7,9 ± 0,76	23,6	9,3 ± 0,95	32,4	18,6 ± 1,45	24,7	24,4 ± 1,41	18,3	32,5 ± 2,69	26,1
6	<i>Acer pseudoplatanus</i> L.	4,8 ± 0,09	4,0	8,2 ± 0,42	10,2	9,1 ± 1,24	27,3	12,3 ± 0,66	9,3	15,3 ± 0,4	3,7	15,3 ± 0,4	3,7
7	<i>Acer platanoides</i> L.	3,1 ± 0,09	5,0	5,4 ± 0,56	18,1	4,9 ± 0,41	26,6	6,1 ± 0,58	27,1	7,1 ± 0,71	24,6	7,1 ± 0,71	24,6
8	<i>Maclura aurantiaca</i> Nutt.	3,1 ± 0,13	7,8	12,5 ± 0,98	15,8	15,5 ± 0,37	7,6	26,6 ± 1,57	18,7	42,8 ± 1,51	11,2	62,8 ± 4,12	20,8
9	<i>Hibiscus syriacus</i> L.	1,3 ± 0,07	10,9	4,6 ± 0,26	13,8	5,5 ± 0,42	24,2	11,9 ± 1,04	27,6	19,0 ± 1,03	17,1	28,1 ± 3,6	40,6
10	<i>Swida australis</i> C. A. Mey.	1,4 ± 0,09	13,0	5,8 ± 0,9	31,3	8,6 ± 1,22	45,1	17,4 ± 2,23	40,6	29,7 ± 2,18	23,2	41,8 ± 4,50	30,4



Рис. 1. Сеянцы *Fraxinus americana* L.
Fig. 1. *Fraxinus americana* L. seedlings

У *Padus serotina* (Ehrh.) Agardh. начало появления всходов происходит во второй половине апреля. Вид характеризуется подземным прорастанием, т. е. семядоли остаются под землей. Первые листья, которые появляются через 4–5 сут. после появления всходов, супротивные, яйцевидно-ланцетные, все остальные листья — очередные.

Период конца роста побегов наблюдается в середине июля (см. табл. 3). К окончанию периода роста высота сеянцев составляет 3,9 см (см. табл. 3).

Все остальные изученные виды характеризуются надземным типом прорастания.

У *Fraxinus lanceolata* Borkh. всходы появились в начале апреля. У вида наблюдается плавное увеличение ростовой активности во время вегетации, к окончанию периода роста высота побега составляет около 29,9 см. Окончание вегетации — в середине октября.

F. americana L. по сравнению с *F. lanceolata* Borkh. характеризуется более крупными семенами, и, как следствие, более крупными проростками. Появление всходов наблюдается во 2-й декаде апреля (рис. 1). Как видно из рис. 1, по темпам роста вид немного опережает *F. lanceolata* (к концу апреля высота побега составляет 5,4 см., а у *F. lanceolata* — 3,6 см). Такая установка прослеживается у обоих видов до конца периода роста. Окончание ростовой активности у обоих видов наблюдается в 1-й декаде сентября. Окончание вегетации — 3-я декада октября.

У *Koelreuteria paniculata* Laxm. появление всходов приурочено к середине апреля. Первые листья



Рис. 2. Сеянцы *Maclura aurantiaca* Nutt.
Fig. 2. *Maclura aurantiaca* Nutt. seedlings



Рис. 4. Сеянцы *Swida australis* C. A. Mey.
Fig. 4. *Swida australis* C. A. Mey. seedlings



Рис. 3. Сеянцы *Hibiscus syriacus* L.
Fig. 3. *Hibiscus syriacus* L. seedlings

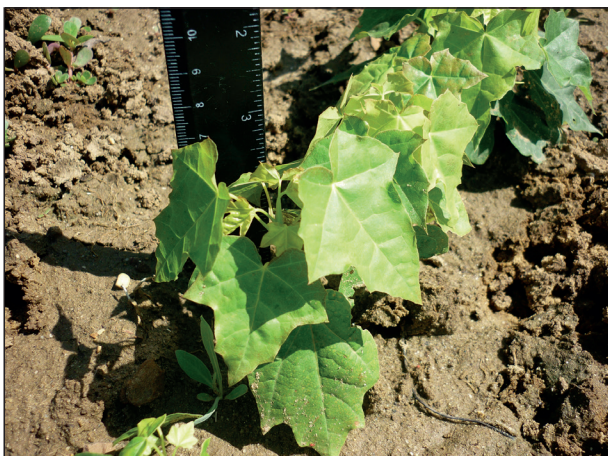


Рис. 5. Сеянцы *Acer platanoides* L.
Fig. 5. *Acer platanoides* L. seedlings

супротивные, красноватые, последующие — непарноперистые. Как видно из табл. 3, прирост сеянцев в первые месяцы незначительный: к концу июня высота сеянцев составляет 4,9 см, с июля наблюдается увеличение месячного прироста и к сентябрю высота сеянцев достигает 21,4 см. Окончание вегетации — 3-я декада октября.

Появление всходов у *Celtis glabrata* Steven ex Planch. наблюдается в конце апреля (см. табл. 2). Семядоли по форме прямоугольные, почти сидячие, на верхушке с широкой выемкой. Первые листья, которые появляются 4 мая, с верхней стороны голые, а с нижней — опушенные, в особенности по жилкам. Период конца роста побегов был связан с периодом осенних заморозков, к этому времени высота сеянцев составляет около 32,5 см.

Всходы у *Maclura aurantiaca* Nutt. появляются в конце апреля (рис. 2). Семядоли широкие, овальные, в середине июня, выполнив свою функцию, отсыхают. Первые листья, появившиеся 8 мая, супротивные, овальной формы, на верхушке острые, при основании клиновидные. Жилкование листьев выражено в виде центральной жилки,

проходящей в срединной части листа, и отходящих от нее мелких жилок. Окончание ростовой активности было вызвано осенними заморозками.

У *Hibiscus syriacus* L. прорастание семян происходит в начале мая (рис. 3). Форма семядолей округлая, до 20 мм в диаметре, на верхушке слегка выемчатая, при основании сердцевидная, имеются черешки. Продолжительность жизни семядолей составляет 87 сут, к концу июля они опадают. На семядолях отчетливо выражены жилки, пальчато расходящиеся от верхушки черешка. Первые листья овальной формы, очередные. Окончание вегетации происходит в конце октября.

У *Swida australis* C. A. Mey. овальные семядоли появляются над землей в 3-й декаде апреля, подсемядольная часть имеет пурпурную окраску. Время опадения семядолей приходится на середину лета, время их жизни составляет 76 сут. Первый лист появляется в середине мая, имеет яйцевидную форму с оттянутой верхушкой и характерными дуговидными боковыми жилками. Окончание ростовой активности и вегетации происходит в 1-й декаде ноября (рис. 4).

**Зимостойкость сеянцев древесных растений, произрастающих
в условиях города Махачкалы**

Winter hardiness of woody plants seedlings growing in Makhachkala city

Номер п/п	Вид	Общая длина сеянца, см		Подмерзание от общей длины сеянца				Зимостойкость, баллы
		$X \pm Sx$	CV, %	см		%		
				$X \pm Sx$	CV, %	$X \pm Sx$	CV, %	
1	<i>Padus serotina</i> (Ehrh.) Agardh.	3,9 ± 0,26	21,5	0	–	0	–	1
2	<i>Fraxinus lanceolata</i> Borkh.	29,9 ± 1,59	16,9	0	–	0	–	1
3	<i>F. americana</i> L.	32,9 ± 1,69	16,3	0	–	0	–	1
4	<i>Koelreuteria paniculata</i> Laxm.	21,4 ± 2,37	35,1	8,6 ± 1,48	54,4	38,8 ± 2,19	17,9	3
5	<i>Celtis glabrata</i> Steven ex Planch.	54,0 ± 17,3	54,6	1,94 ± 0,19	30,5	6,8 ± 0,52	24,2	2
6	<i>Acer pseudoplatanus</i> L.	15,3 ± 0,4	3,7	0	–	0	–	1
7	<i>A. platanoides</i> L.	7,1 ± 0,71	24,6	0	–	0	–	1
8	<i>Maclura aurantiaca</i> Nutt.	62,8 ± 4,12	20,8	21,5 ± 2,34	34,5	33,4 ± 1,40	13,3	3
9	<i>Hibiscus syriacus</i> L.	28,1 ± 3,6	40,6	19,0 ± 3,59	59,7	64,7 ± 2,55	12,5	4
10	<i>Swida australis</i> C. A. Mey.	41,8 ± 4,50	30,4	0	–	0	–	1

У *Acer platanoides* L. семядоли светло-зеленые, продолговатые (рис. 5). Фаза появления всходов наблюдалась в середине весны. Семядоли постепенно начинают желтеть и в конце июня, выполнив свою функцию, опадают.

Появление всходов у *Acer pseudoplatanus* L. относится к середине весны. Семядоли тупые, продолговатые, с тремя хорошо заметными продолговатыми жилками. Конец ростовой активности происходит в начале августа, высота побега к этому времени составляет 15,4 см. Окончание вегетации у видов *Acer* — 1-я декада ноября.

Вовремя наступившее прекращение роста и переход в длительный и глубокий покой обеспечивают устойчивость растения в зимний период. Анализ сезонного ритма развития изучаемых объектов показал, что окончание ростовой активности и состояние покоя до наступления периода отрицательных температур наблюдается у видов *Acer pseudoplatanus*, *A. platanoides*, *Padus serotina*, *Fraxinus lanceolata*, *F. americana*, что теоретически способствует лучшей устойчивости в зимний сезон, так как одна волна ростовой активности и переход в глубокий покой способствуют изменениям, которые повышают выносливость видов зимой [22]. У других видов окончание ростовой деятельности и наступление покоя не наблюдалось, а было вызвано только приходом заморозков. Оценка зимостойкости видов *Acer pseudoplatanus*, *A. platanoides*, *Padus serotina*, *Fraxinus lanceolata*, *F. americana*, *Swida australis* составляет 1 балл (растения не обмерзают), у *Celtis glabrata* — 2 балла (обмерзает до 25 % высоты побега), у *Koelreuteria paniculata* и *Maclura aurantiaca* — 3 балла (обмерзает до 50 % высоты побега), у *Hibiscus syriacus* — 4 балла (обмерзает до 75 % высоты побега) (табл. 5).

Зимостойкость как способность растений противостоять комплексу воздействий внешней среды на протяжении зимнего и ранневесеннего периодов (морозам, оттепелям, ветрам, гололеду и пр.) является основным экологическим свойством растений, произрастающих в условиях умеренного климата, определяет ареал их произрастания [23–25]. Многие исследователи в работах показали связь зимостойкости интродуцированных растений с сезонным ритмом развития в их годовом цикле [26–35].

Выводы

Зимостойкость сеянцев растений в большой степени зависит от полноты вызревания побегов. Относительно короткий период роста и продолжительный период вызревания и закаливания побегов у сеянцев *Padus serotina*, *Fraxinus lanceolata*, *Fraxinus americana*, *Acer pseudoplatanus*, *Acer platanoides*, *Swida australis* способствует повышенной их морозоустойчивости. Эти виды имеют европейское (*Acer platanoides*), средиземноморско-европейское (*A. pseudoplatanus*, *Swida australis*) и североамериканское (*Padus serotina*, *Fraxinus lanceolata*, *F. americana*) происхождение. Другие виды показали меньшую зимостойкость: кавказский вид *Celtis glabrata* и восточно-азиатский вид *Koelreuteria paniculata* — 2 балла, малоазийский вид *Hibiscus syriacus* — 3 балла. Естественным ареалом *Maclura aurantiaca* является юго-восточная часть Северной Америки, с чем, видимо, и связана оценка 3 балла у данного вида в отличие от других видов североамериканского происхождения, т. е. результаты эксперимента подтверждают положения интродукционного метода климатических аналогов Г. Майра.

Список литературы

- [1] Филатова С.Н., Сергеева О.К. Древесно-кустарниковые виды сосудистых растений в урбанофлоре Норильска // Культура. Наука. Производство, 2021. № 7. С. 28–32.
- [2] Гареева С.А., Голованов Я.М., Хусаинов А.Ф. Урбанофлора города Янаул (Республика Башкортостан) // Разнообразие растительного мира, 2020. № 4 (7). С. 4–27.
- [3] Тихомирова Т.С. Эколого-биологические особенности урбанофлоры города Тольятти Самарской области // Студенческий вестник, 2019. № 48–3 (98). С. 53–56.
- [4] Хромова Т.М., Емельянова О.Ю. Систематическая структура урбанофлоры различных биотопов городов Орловской области // Acta Biologica Sibirica, 2019. Т. 5. № 4. С. 44–53.
- [5] Лазарев С.Е., Семенютина А.В. Перспективность видов и форм рода *Robinia L.* для лесозащитных и озеленительных насаждений // Успехи современного естествознания, 2020. № 8. С. 11–17.
- [6] Некрасов В.И. Роль семенной репродукции в оценке степени акклиматизации растений // Тез. докл. Всесоюз. совещ. «Ритм роста и развития интродуцентов», 13–15 марта 1973. М.: Изд-во ГБС АН СССР, 1973. С. 90–93.
- [7] Pedrol N., Puig, C.G., López-Nogueira A., Pardo-Muras M., González L., Souza-Alonso P. Optimal and synchronized germination of *Robinia pseudoacacia*, *Acacia dealbata* and other woody Fabaceae using a handheld rotary tool: concomitant reduction of physical and physiological seed dormancy // J. of Forestry Research, 2018, v. 29 (2), pp. 283–290.
- [8] Ермакова М.В., Иванова Н.С., Золотова Е.С. Начальные этапы роста сосны обыкновенной на почвах лесов и вырубок Зауральской холмисто-предгорной провинции Среднего Урала // Бюл. Мос. об-ва испытателей природы. Отдел биологический, 2018. Т. 123. Вып. 1. С. 46–56.
- [9] Кузьмина Т.Н. Характеристика и всхожесть семян *Jasminum fruticans L.* (Oleaceae) // Уч. зап. Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия, 2019. Т. 5 (71). № 3. С. 22–32.
- [10] Сафиуллин Д.Ф., Рябова Т.Г. Начальные этапы онтогенеза кипариса вечнозеленого // Интеграция науки, общества, производства и промышленности: Сб. статей Междунар. науч.-практ. конф., Иркутск, 27 ноября 2019 года. Уфа: Аэтерна, 2019. С. 19.
- [11] Кошелев А.Ю., Благодарова Т.А., Сиволапов А.И. Всхожесть семян, рост и состояние семян дуба черешчатого под влиянием газовой декомпрессии // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика, 2020. Т. 8. № 3 (50). С. 312–315.
- [12] Гричик Е.Л., Жолобова О.О. Влияние скарификации на кинетику прорастания семян с твердыми покровами некоторых видов рода *Gleditsia* при генеративном размножении // Научно-агрономический журнал, 2022. № 4 (119). С. 115–121.
- [13] Бабай И.В., Чекалин С.В. Видовая специфичность интенсивности роста побегов дубов на ранней стадии онтогенеза при интродукции в Алматы // Ботанические сады в современном мире: теоретические и прикладные исследования. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2011. С. 33.
- [14] Сабирова Р.Р., Усманов С.Б. Изучение всхожести семян туи западной в лабораторных условиях // Материалы 80-й студ. (региональной) науч. конф. «Студенческая наука — аграрному производству», Казань, 08–09 февраля 2022 г. Казань: Изд-во Казанского государственного аграрного университета, 2022. С. 110–114.
- [15] Демидова Н.А., Дуркина Т.М., Гоголева Л.Г. Изменчивость биометрических показателей семян сосны скрученной широкохвойной с закрытой корневой системой на севере Архангельской области // Лесоведение, 2020. № 5. С. 466–473. DOI: 10.31857/S0024114820050046
- [16] Черепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств. СПб.: Мир и семья, 1995. 992 с.
- [17] Александрова М.С., Булыгин Н.Е., Ворошилов В.Н. Методика фенологических наблюдений в ботанических садах СССР. М.: Наука, 1975. 28 с.
- [18] Мамаев С.А. О проблемах и методах внутривидовой систематики древесных растений. Амплитуда изменчивости // Закономерности формообразования и дифференциации вида у древесных растений. Свердловск: Изд-во УНЦ АН СССР, 1969. С. 3–38.
- [19] Древесные растения Главного ботанического сада АН СССР. М.: Наука, 1975. 547 с.
- [20] Акаев Б.А., Атаев З.В., Гаджиев Б.С. Физическая география Дагестана. М.: Школа, 1996. 384 с.
- [21] Некрасов В.И. Генетические аспекты естественного и искусственного отбора в интродукции растений // Журнал общей биологии, 1993. С. 333–340.
- [22] Сабинин Д.А. Физиология развития растений. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 196 с.
- [23] Титов А.Ф., Акимова Т.В., Таланова В.В., Топчиева Л.В. Устойчивость растений в начальный период действия неблагоприятных температур / под ред. Н.Н. Немовой. М.: Наука, 2006. 143 с.
- [24] Сергеев Л.И. Выносливость растений. М.: Советская наука, 1953. 240 с.
- [25] Туманов И.И. Физиология закаливания и морозостойкости растений. М.: Наука, 1979. 352 с.
- [26] Меркер В.В. Итоги интродукции древесных растений североамериканской флоры в Челябинской области // Вестник Челябинского государственного университета, 2008. № 17. С. 104–121.
- [27] Фирсов Г.А., Волчанская А.В., Фадеева И.В. Уровни адаптированности древесных видов растений Красной книги России, интродуцированных в Санкт-Петербурге, в условиях изменения климата // Природные системы и ресурсы, 2012. № 2 (4). С. 16–27.
- [28] Мартынов Л.Г. О зимостойкости древесных растений, интродуцированных в ботаническом саду Института биологии Коми научного центра // Бюл. Главного ботанического сада, 2013. № 1. С. 19–26.
- [29] Залыувская О.С., Бабич Н.А. Зимостойкость и морозоустойчивость интродуцентов // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2014. Т. 18. № 1 (100). С. 105–110.
- [30] Мурзабулатова Ф.К., Шигапов З.Х., Полякова Н.В. Начальные этапы онтогенеза представителей рода *Hydrangea L.* в условиях культуры // Онтогенез, 2021. Т. 52. № 2. С. 137–145.
- [31] Гордеева Г.Н. Коллекция древесных растений в Хакасии // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии, 2023. № 22-1. С. 114–117.
- [32] Mayr H. Die Naturgezetlicher Grundlage des Waldbauss. Berlin: Pareyd, 1909. 366 p.
- [33] Полякова Н.В. Начальные этапы онтогенеза различных видов сирени в г. Уфе // Вестник Оренбургского государственного университета, 2009. № 6. С. 293–295.
- [34] Иванова Н.С., Ермакова М.В., Золотова Е.С. Начальный этап онтогенеза *Picea obovata Ledeb* на различных почвах // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 2016. Т. 18. № 5. С. 5–10.
- [35] Малышева С.К. Рост и зимостойкость восточноазиатских растений в условиях интродукционного питомника // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований, 2018. № 11. С. 329–332.

Сведения об авторе

Магомедова Барият Магомедтагировна — канд. биол. наук, науч. сотр. Лаборатории интродукции и генетических ресурсов древесных растений, Горный ботанический сад ДФИЦ РАН, bary_m@mail.ru

Поступила в редакцию 25.01.2023.

Одобрено после рецензирования 15.06.2023.

Принята к публикации 18.07.2023.

GROWTH AND DEVELOPMENT OF ORNAMENTAL TREE SPECIES SEEDLINGS IN LOWLAND DAGESTAN

B.M. Magomedova

Mountain Botanical Garden of the Dagestan Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (MBG DFRC RAS), 45, Gadgiev st., 367000, Makhachkala, Republic Dagestan, Russia

bary_m@mail.ru

Some features of the initial stages of woody plants ontogenesis of the urban flora in Makhachkala are presented such as *Padus serotina* (Ehrh.) Agardh., *Fraxinus lanceolata* Borkh., *F. americana* L., *Koelreuteria paniculata* Laxm., *Celtis glabrata* Steven ex Planch., *Acer pseudoplatanus* L., *A. platanoides* L., *Maclura aurantiaca* Nutt., *Hibiscus syriacus* L., *Swida australis* C. A. Mey. The relationship between the dynamics of phenological phases and the degree of winter hardiness was revealed. It is shown that the end of growth activity and the transition to a dormant state before the onset of a sub-zero temperature period contributes to better stability during the winter season. A relationship was found between winter hardiness of shoots and relative growth, i.e. the stronger the annual growth was, the greater the percentage of frost-beating from the total height of the seedling was observed. The results of the experiment approve the introduction method of climatic analogues of G. Mayr.

Keywords: ontogeny, seedlings, Dagestan, winter hardiness, tree species

Suggested citation: Magomedova B.M. *Rost i razvitie seyantsev dekorativnykh drevesnykh vidov v nizmennom Dagestane* [Growth and development of ornamental tree species seedlings in lowland Dagestan]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2023, vol. 27, no. 5, pp. 117–126. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-5-117-126

References

- [1] Filatova S.N., Sergeeva O.K. *Drevesno-kustarnikovye vidy sosudistykh rasteniy v urbanoflore Noril'ska* [Tree and shrub species of vascular plants in the urban flora of Noril'sk]. Kul'tura. Nauka. Proizvodstvo [Culture. The science. Production], 2021, no. 7, pp. 28–32.
- [2] Gareeva S.A., Golovanov Ya.M., Khusainov A.F. *Urbanoflora goroda Yanaul (Respublika Bashkortostan)* [Urban flora of the city of Yanaul (Republic of Bashkortostan)]. *Raznoobrazie rastitel'nogo mira* [Diversity of the plant world], 2020, no. 4 (7), pp. 4–27.
- [3] Tikhomirova T.S. *Ekologo-biologicheskie osobennosti urbanoflory goroda Tol'yatti Samarskoy oblasti* [Ecological and biological features of the urban flora of the city of Togliatti, Samara region]. *Studencheskiy vestnik* [Student Bulletin], 2019, no. 48–3 (98), pp. 53–56.
- [4] Khromova T.M., Emel'yanova O.Yu. *Sistematicheskaya struktura urbanoflory razlichnykh biotopov gorodov Orlovskoy oblasti* [Systematic structure of the urban flora of various biotopes in the cities of the Oryol region]. *Acta Biologica Sibirica* [Acta Biologica Sibirica], 2019, v. 5, no. 4, pp. 44–53.
- [5] Lazarev S.E., Semenyutina A.V. *Perspektivnost' vidov i form roda Robinia L. dlya lesozashchitnykh i ozelenitel'nykh nasazhdeniy* [The prospects of species and forms of the genus Robinia L. for forest protection and green plantings]. *Uspekhi sovremennoego estestvoznaniya* [Successes of modern natural science], 2020, no. 8, pp. 11–17.
- [6] Nekrasov V.I. *Rol' semennoy reproduksii v otsenke stepeni akklimatizatsii rasteniy* [The role of seed reproduction in assessing the degree of acclimatization of plants]. *Tez. dokl. Vsesoyuz. soveshch «Ritm rosta i razvitiya introdutsentov»*, 13–15 marta 1973. Moscow: GBS AN SSSR [Proceedings. report All-Union. meeting «Rhythm of growth and development of introducers», March 13–15, 1973]. Moscow: GBS AN USSR, 1973, pp. 90–93.
- [7] Pedrol N., Puig, C.G., López-Nogueira A., Pardo-Muras M., González L., Souza-Alonso P. Optimal and synchronized germination of Robinia pseudoacacia, Acacia dealbata and other woody Fabaceae using a handheld rotary tool: concomitant reduction of physical and physiological seed dormancy. *J. of Forestry Research*, 2018, v. 29 (2), pp. 283–290.
- [8] Ermakova M. V., Ivanova N. S., Zolotova E. S. *Nachal'nye etapy rosta sosny obyknovennoy na pochvakh lesov i vyrubok Zaural'skoy kholmistlo-predgornoy provintsii Srednego Urala* [The initial stages of growth of Scots pine on the soils of forests and clearings of the Trans-Ural hilly-foothill province of the Middle Urals]. *Byulleten' Moskovskogo obshchestva ispytateley prirody. Otdelenie Biologii* [Bulletin of the Moscow Society of Naturalists. Department of Biology], 2018, v. 123, iss. 1, pp. 46–56.

- [9] Kuz'mina T. N. *Kharakteristika i vskhozhest' semyan Jasminum fruticans L. (Oleaceae)* [Characteristics and germination of seeds of *Jasminum fruticans L. (Oleaceae)*]. *Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Biologiya. Khimiya* [Uchenye zapiski Crimean Federal University named after V.I. Vernadsky. Biology. Chemistry], 2019, v. 5 (71), no. 3, pp. 22–32.
- [10] Safiullin D.F., Ryabova T.G. *Nachal'nye etapy ontogeneza kparisa vechnozelenogo* [Initial stages of ontogenesis of evergreen cypress]. *Integratsiya nauki, obshchestva, proizvodstva i promyshlennosti* [Integration of science, society, production and industry], 2019, p. 19.
- [11] Koshelev A.Yu., Blagodarova T.A., Sivolapov A.I. *Vskhozhest' semyan, rost i sostoyanie seyantssev duba chereschatogo pod vliyaniem gazovoy dekompressii* [Seed germination, growth and condition of pedunculate oak seedlings under the influence of gas decompression]. *Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika* [Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice], 2020, v. 8, no. 3 (50), pp. 312–315.
- [12] Grichik E.L., Zholobova O.O. *Vliyaniye skarifikatsii na kinetiku prorastaniya semyan s tverdymi pokrovami nekotorykh vidov roda Gleditsia pri generativnom razmnzhenii* [Influence of scarification on the kinetics of seed germination with hard covers of some species of the genus *Gleditsia* during generative reproduction]. *Nauchno-agronomicheskii zhurnal* [Scientific and agronomic journal], 2022, no. 4 (119), pp. 115–121.
- [13] Babay I. V., Chekalin S. V. *Vidovaya spetsifichnost' intensivnosti rosta pobegov dubov na ranneye stadii ontogeneza pri introduktsii v Almaty* [Species specificity of the intensity of growth of shoots of oaks at an early stage of ontogenesis during introduction in Almaty]. *Botanicheskie sady v sovremennom mire: teoreticheskie i prikladnye issledovaniya* [Botanical gardens in the modern world: theoretical and applied research], 2022, p. 33.
- [14] Sabirova R.R., Usmanov S.B. *Izuchenie vskhozhesti semyan tui zapadnoy v laboratornykh usloviyakh* [Study of the germination of western thuja seeds in laboratory conditions]. *Materialy 80-y studencheskoy (regional'noy) nauchnoy konferentsii «Studencheskaya nauka — agrarnomu proizvodstvu»*. [Materials of the 80th student (regional) scientific conference «Student science — agricultural production»], Kazan, 2022, pp. 110–114.
- [15] Demidova N.A., Durkina T.M., Gogoleva L.G. *Izmenchivost' biometricheskikh pokazateley seyantssev sosny skruchennoy shirokokhvoynoy s zakrytoy kornevoy sistemoy na severe Arkhangel'skoy oblasti* [Variability of biometric parameters of seedlings of twisted broad-coniferous pine with closed root system in the north of the Arkhangelsk region]. *Lesovedenie* [Forestry], 2020, no. 5, pp. 466–473. DOI: 10.31857/S0024114820050046
- [16] Cherepanov S.K. *Sosudistyye rasteniya Rossii i sopredel'nykh gosudarstv* [Vascular plants of Russia and adjacent states]. St. Petersburg: Mir i semya, 1995, 992 p.
- [17] Aleksandrova M.S., Bulygin N.E., Voroshilov V.N. *Metodika fenologicheskikh nablyudeniy v botanicheskikh sadakh SSSR*. [Methods of phenological observations in the Botanical Gardens of the USSR]. Moscow: Nauka, 1975, 28 p.
- [18] Mamaev S.A. *O problemakh i metodakh vnutrividovoy sistematiki drevesnykh rasteniy. Amplituda izmenchivosti* [On the problems and methods of intraspecific taxonomy of woody plants. Amplitude of variability]. *Zakonomernosti formoobrazovaniya i differentsiatsii vida u drevesnykh rasteniy* [Patterns of morphogenesis and species differentiation in woody plants]. Sverdlovsk: UNC AN USSR, 1969, pp. 3–38.
- [19] *Drevesnye rasteniya Glavnogo botanicheskogo sada AN SSSR* [Woody plants of the Main Botanical Garden of the Academy of Sciences of the USSR]. Moscow: Nauka, 1975, 547 p.
- [20] Akaev B.A., Ataev Z.V., Gadzhiev B.S. *Fizicheskaya geografiya Dagestana* [Physical geography of Dagestan]. Moscow: School, 1996, 384 p.
- [21] Nekrasov V.I. *Geneticheskie aspekty estestvennogo i iskusstvennogo otbora v introduktsii rasteniy* [Genetic aspects of natural and artificial selection in plant introduction]. *Zhurnal obshchey biologii* [J. of General Biology], 1993, pp. 333–340.
- [22] Sabinin D.A. *Fiziologiya razvitiya rasteniy* [Physiology of plant development]. Moscow: Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR, 1963, 196 p.
- [23] Titov A.F., Akimova T.V., Talanova V.V., Topchieva L.V. *Ustoychivost' rasteniy v nachal'nyy period deystviya neblagopriyatnykh temperatur* [Plant resistance in the initial period of adverse temperatures]. Ed. N.N. Nemova. Moscow: Nauka, 2006, 143 p.
- [24] Sergeev L.I. *Iynoslivost' rasteniy* [Endurance of plants]. Moscow: Sovetskaya nauka, 1953, 240 p.
- [25] Tumanov I.I. *Fiziologiya zakalivaniya i morozostoykosti rasteniy* [Physiology of hardening and frost resistance of plants]. Moscow: Nauka, 1979, 352 p.
- [26] Merker V.V. *Itogi introduktsii drevesnykh rasteniy severoamerikanskoy flory v Chelyabinskoy oblasti* [Results of the introduction of woody plants of the North American flora in the Chelyabinsk region]. *Vestnik Chelyabinskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of the Chelyabinsk State University]. 2008. no. 17, pp. 104–121.
- [27] Firsov G.A., Volchanskaya A.V., Fadeeva I.V. *Urovni adaptirovannosti drevesnykh vidov rasteniy Krasnoy knigi Rossii, introdutsirovannykh v Sankt-Peterburge, v usloviyakh izmeneniya klimata* [Levels of adaptation of woody plant species of the Red Data Book of Russia, introduced in St. Petersburg, under climate change]. *Prirodnye sistemy i resursy* [Natural Systems and Resources], 2012, no. 2 (4), pp. 16–27.
- [28] Martynov L.G. *O zimostoykosti drevesnykh rasteniy, introdutsirovannykh v botanicheskom sadu Instituta biologii Komi nauchnogo tsentra* [On the winter hardiness of woody plants introduced in the botanical garden of the Institute of Biology of the Komi Scientific Center]. *Byulleten' Glavnogo botanicheskogo sada* [Bulletin of the Main Botanical Garden], 2013, no. 1, pp. 19–26.
- [29] Zalyvskaya O.S., Babich N.A. *Zimostoykost' i morozoustoychivost' introdutsentov* [Winter hardiness and frost resistance of introduced species]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2014, t. 18, no. 1 (100), pp. 105–110.
- [30] Murzabulatova F.K., Shigapov Z.Kh., Polyakova N.V. *Nachal'nye etapy ontogeneza predstaviteley roda Hydrangea L. v usloviyakh kul'tury* [Initial stages of ontogenesis of representatives of the genus *Hydrangea L.* under cultural conditions]. *Ontogenez* [Ontogenez], 2021, t. 52, no. 2, pp. 137–145.
- [31] Gordeeva G.N. *Kollektsiya drevesnykh rasteniy v Khakassii* [Collection of woody plants in Khakassia]. *Problemy botaniki Yuzhnoy Sibiri i Mongolii* [Problems of Botany of Southern Siberia and Mongolia], 2023, no. 22-1, pp. 114–117.

- [32] Mayr H. Die Naturgesetzlicher Grundlage des Waldbauss. Berlin: Pareyd, 1909, 366 p.
- [33] Polyakova N.V. *Nachal'nye etapy ontogeneza razlichnykh vidov sireni v g. Ufe* [Initial stages of ontogeny of various lilac species in Ufa]. Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of the Orenburg State University], 2009, no. 6, pp. 293–295.
- [34] Ivanova N.S., Ermakova M.V., Zolotova E.S. *Nachal'nyy etap ontogeneza Picea obovata Ledeb na razlichnykh pochvakh* [The initial stage of the ontogeny of *Picea obovata* Ledeb on various soils]. Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk [Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2016, v. 18, no. 5, pp. 5–10.
- [35] Malysheva S.K. *Rost i zimostoykost' vostochnoaziatskikh rasteniy v usloviyakh introduktsionnogo pitomnika* [Growth and winter hardiness of East Asian plants in the conditions of an introduction nursery]. Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy [International J. of Applied and Basic Research], 2018, no. 11, pp. 329–332.

Author's information

Magomedova Bariyat Magomedtagirovna — Cand. Sci. (Biology), Scientific Researcher, the Laboratory of Introduction and Genetic resources of Woody plants, Mountain Botanical Garden Dagestan Federal Research Center of Russian Academy of Sciences, bary_m@mail.ru

Received 25.01.2023.

Approved after review 15.06.2023.

Accepted for publication 18.07.2023.

МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПЛОДОВ И КАЧЕСТВО СЕМЯН НЕКОТОРЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РОДА *ROSA* L.

Н.Р. Сунгурова¹✉, С.Р. Страздаускене¹, Г.Н. Стругова¹,
С.С. Макаров^{1,2}, В.П. Бессчетнов³

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

²ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет — Московская сельскохозяйственная академия имени К.А. Тимирязева», Россия, 127550, Москва, Тимирязевская ул., д. 49

³ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный агротехнологический университет», Россия, 603107, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, д. 97

n.sungurova@narfu.ru

Приведен анализ морфометрических показателей плодов различных представителей родового комплекса *Rosa* L., произрастающих в дендрологическом саду САФУ. Установлено, что самыми крупными плодами обладают розы морщинистая, р. морщинистая «Плена» и р. гибридная. Определены показатели параметров плодов, которые характеризуются шарообразной, приплюснутой и вытянутой формами. Установлено, что самую большую массу имеют плоды розы морщинистой и р. колючейшей, а самую маленькую — р. степная. Отмечено, что наибольший процент содержания семян имеют р. коричневая, р. сизая и р. повислая, а плоды этих видов — максимальное количество семян, кроме р. сизой. Показано, что у р. майской и р. коричневой самые легкие семена, самой высокой доброкачественностью обладают семена р. коричневой (93,8 %). Минимальный показатель количества полнозернистых здоровых семян отмечен у р. колючейшей «Плена» (75 %).

Ключевые слова: розы, шиповники, плоды, семена, всхожесть, энергия прорастания

Ссылка для цитирования: Сунгурова Н.Р., Страздаускене С.Р., Стругова Г.Н., Макаров С.С., Бессчетнов В.П. Морфометрические показатели плодов и качество семян некоторых представителей рода *Rosa* L. // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 5. С. 127–137. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-5-127-137

Род *Rosa* L. в мировой флоре насчитывает от 190 [1–2] до 500 видов [3–4]. 100 таксонов произрастают на территории России [5–7]. Представители рода *Rosa* распространены преимущественно в умеренно теплых и субтропических областях Северного полушария [8–9]. Шиповники широко используются человеком как декоративные, лекарственные и плодовые растения [10–13]. Некоторые виды во вторичном ареале активно натурализуются, проявляют высокую инвазивность [14–19]. Антропогенная трансформация растительного покрова отражается на распространении представителей родового комплекса *Rosa*. Часть из них оказывается приуроченной к определенным элементам ландшафта [20–27].

Название «роза» происходит от греческого слова «родон» — розовый [5]. В Архангельской обл. в природе распространены два вида розы: майская и иглистая [28].

Розы, или представители рода Шиповник, представляют собой кустарники, многие из которых ранней весной выделяются пурпурными побегами с сизым налетом и светлой зеленью распускающихся перистых листьев. Особо декоративны розы на освещенных местах в период цветения летом, когда кусты обильно покрываются розовыми (ино-

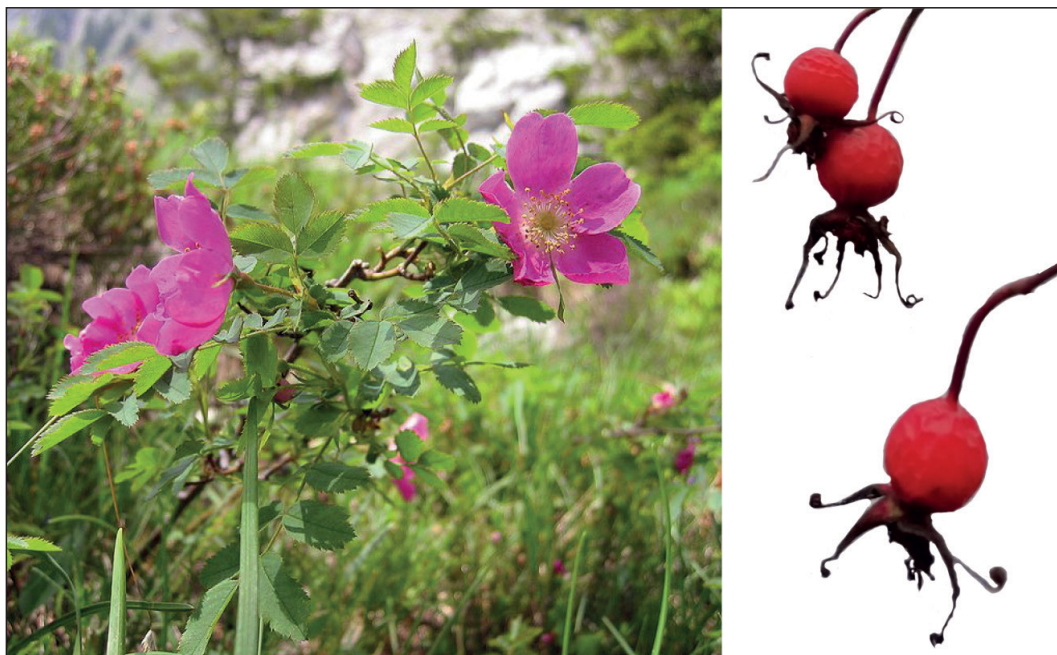
гда белыми или желтыми) крупными ароматными цветками, с характерными скоплениями в центре цветка множества золотистых тычинок. Осенняя окраска кустарников золотисто-желтая, желто-оранжевая, пурпурная и красная, что не менее эстетически привлекательно. Размножаются виды семенами, корневыми отпрысками и делением кустов [6, 8, 29]. Следствием успешной интродукции является прохождение растением полного цикла онтогенетического развития, а плодоношение интродуцента служит важнейшим показателем к адаптации. Важно отметить, что на качество плодов влияет общее состояние растения [30–31].

Цель работы

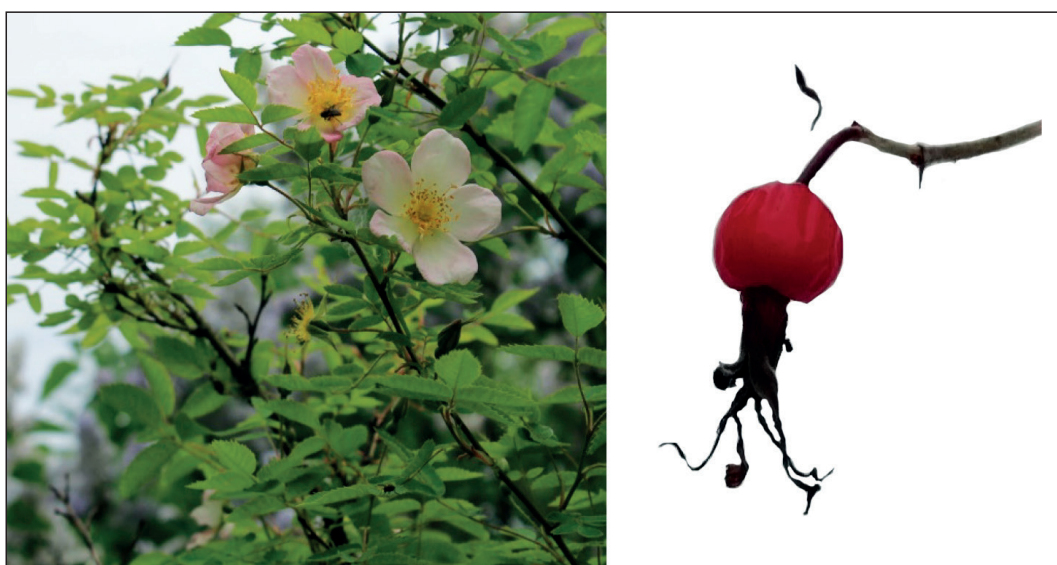
Цель работы — анализ морфологических особенностей плодов и качественных показателей семян некоторых представителей рода *Rosa* L., произрастающих в дендрологическом саду САФУ.

Материалы и методы исследования

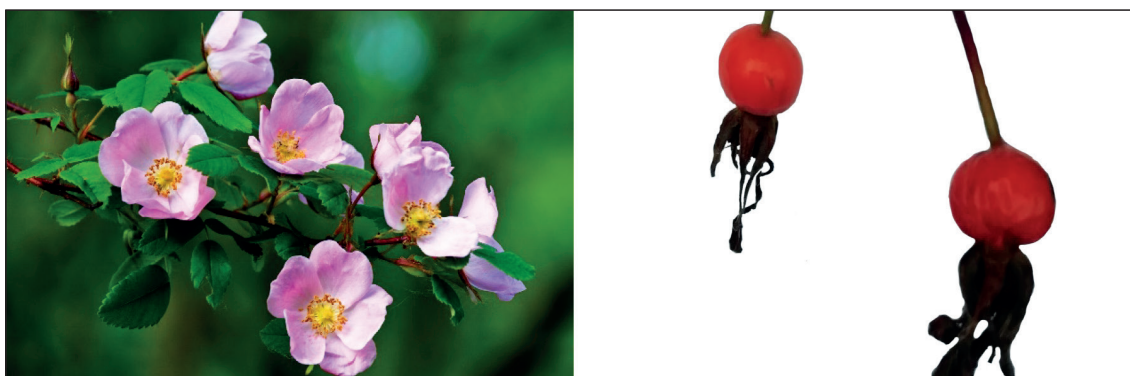
Исследование проводилось на базе Дендрологического сада имени И.М. Стратоновича при САФУ (далее — Дендросад САФУ) — одного из старейших интродукционных пунктов на Европейском Севере наряду с Полярно-альпийским ботаническим садом — институтом имени Н.А. Аврорина КНЦ РАН (ПАБСИ) в Мурманской области.



Роза повислая (*Rosa pendulina* L.)



Роза майская (*Rosa majalis* Herrm.)



Роза коричная (*Rosa cinnamomea* L.)



Роза степная (*Rosa laxa* Retz.)



Роза колючейшая (*Rosa pimpinellifolia* L.)



Роза морщинистая (*Rosa rugosa* Thunb.)



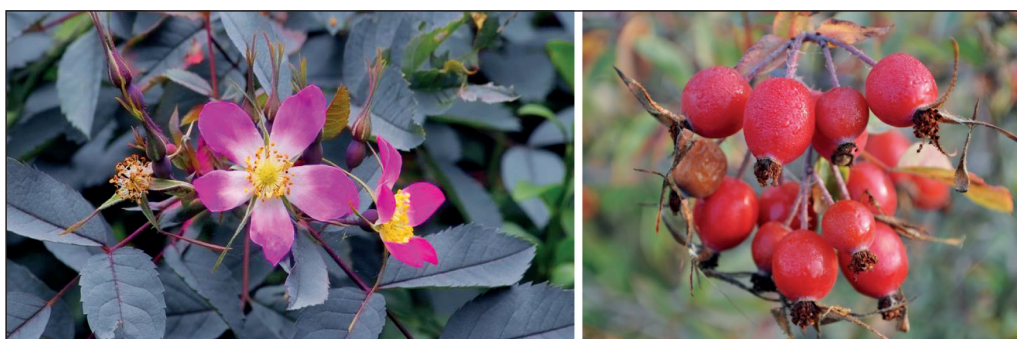
Роза морщинистая «Плена» (*Rosa rugosa* «Plena»)



Роза колючейшая «Плена» (*Rosa pimpinellifolia* «Plena»)



Роза гибридная (*Rosa hybrida*)



Роза сизая (*Rosa glauca* Pourett.)

Для Архангельска характерен субарктический климат с продолжительной зимой и коротким прохладным летом. Частое изменение погоды обусловлено интенсивным воздействием атлантических и арктических циклонов. Средняя годовая температура воздуха $+0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, средняя температура января и июля $-12,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $+15,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ соответственно [6, 29, 30].

Объектами исследования служили плоды и семена следующих видов рода *Rosa*: роза повислая (*Rosa pendulina* L.), р. майская (*Rosa majalis* Herzm.), р. коричная (*Rosa cinnamomea* L.), р. степная (*Rosa laxa* Retz.), р. колючейшая (*Rosa pimpinellifolia* L.), р. морщинистая «Плена» (*Rosa rugosa* «Plena»), р. морщинистая (*Rosa rugosa* Thunb.), р. колючейшая «Плена» (*Rosa pimpinellifolia* «Plena»), р. гибридная (*Rosa hybrida*), р. сизая (*Rosa glauca* Pourrett.).

Проведено изучение следующих морфометрических показателей плодов: ширины, толщины, длины, массы плода, массы семян и их количества. Параметры плода измеряли с помощью цифрового штангенциркуля TUNDRА 1112961 с точностью до 0,01 мм, массу определяли на цифровых ювелирных весах KL-50 с точностью до 0,001 г.

Качество (доброкачественность) семян с длительным семенным покоем определяли с помощью взрезывания согласно ГОСТ 13056.8–97 «Семена деревьев и кустарников. Метод определения доброкачественности». Доброкачественность семян вычисляется как количество полнозернистых здоровых семян с характерной для данного вида окраской зародыша и эндосперма, выраженное в процентах относительно общего числа семян, взятых для анализа. К недоброкачественным относили семена загнившие, зараженные вредителем, беззародышевые и пустые. Для исследования отбирали четыре пробы по 100 шт. семян каждого вида (не выбирая).

Полученные результаты обрабатывали в программе Microsoft Excel.

Результаты и обсуждение

Результаты исследований массы плодов показали (рис. 1), что самые тяжелые плоды имеют р. морщинистая «Плена» (5,12 г с черенком) и р. морщинистая (4,42 г). Эти виды относятся к крупноплодным. Наименьшее значение массы отмечено у р. колючейшей «Плена» (0,50 г с черенком) и р. степной (0,70 г). Их можно отнести к мелкоплодным.

Масса плода с черенком значительно отличается от массы без черенка (на 28 %) у р. колючейшей «Плена» и р. степной (17,1 %). Самый легкий черенок у р. майской и р. сизой. Разница между показателями массы плода с черенком и

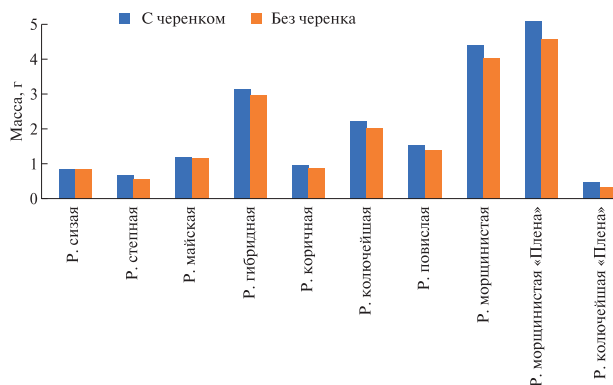


Рис. 1. Масса плодов некоторых видов рода *Rosa* L.
Fig. 1. The fruits mass of some species of the genus *Rosa* L.

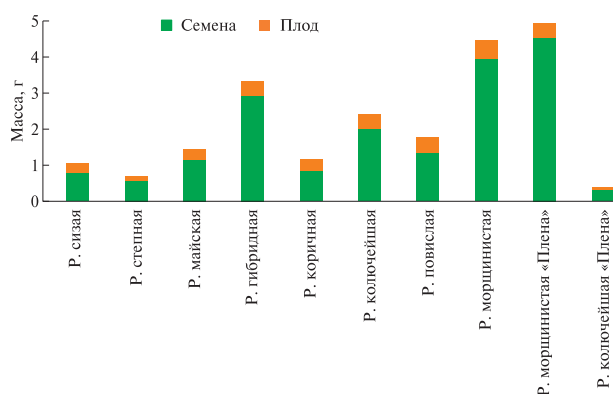


Рис. 2. Соотношение массы плода и массы семян некоторых видов рода *Rosa* L.
Fig. 2. The ratio of the fruit weight and the seeds weight of the studied *Rosa* L.

массы без черенка составляет у этих таксонов 3,5 и 3,3 % соответственно.

Показатель отношения массы семян к общей массе плодов варьирует (рис. 2) и составляет: у р. сизой 31,2 %, р. степной 20,71, р. майской 26,2, р. гибридной 13, р. коричной 36,4, р. колючейшей 19,6, р. повислой 30,4, р. морщинистой 13,4, р. морщинистой «Плена» 9,5, р. колючейшей «Плена» 12 %.

Масса семян в плоде изменяется у исследуемых видов в пределах от 0,04 г у р. колючейшей «Плена» до 0,54 г у р. морщинистой.

Например, П.С. Игнатъев [5] отмечает, что чем меньше доля семян в массе плодов, тем больше ценность плодов как витаминноса. Это объясняется тем, что в семенах нет или почти нет аскорбиновой кислоты.

Н.А. Демидова и соавт. [32, 33] указывают, что роза майская в Дендрологическом саду имени В.Н. Нилова ФБУ Северного научно-исследовательского института лесного хозяйства (ФБУ СевНИИЛХ) используется как высоко витаминизированный кустарник, к тому же создан селекционный фонд данного вида. Однако процентное соотношение семян относительно общей

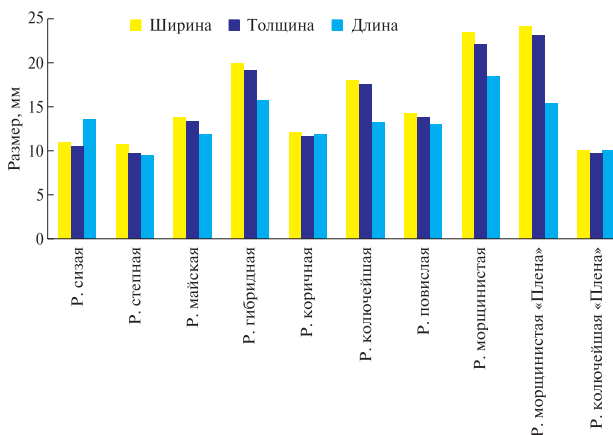


Рис. 3. Морфометрические показатели плодов некоторых видов рода *Rosa* L.
 Fig. 3. Morphometric fruits indicators of the studied species *Rosa* L.

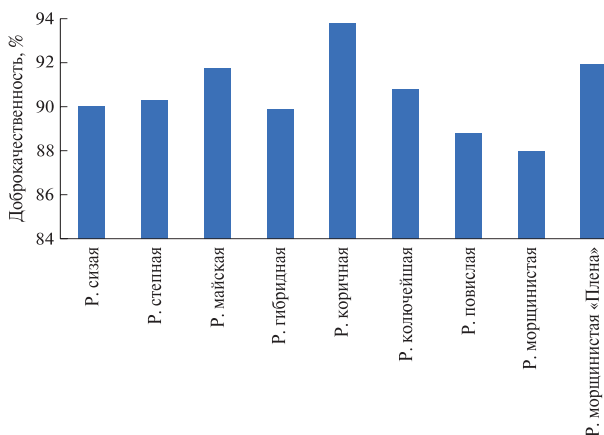


Рис. 6. Доброкачественность семян некоторых видов рода *Rosa* L.
 Fig. 6. The seeds quality of some species of the genus *Rosa* L.

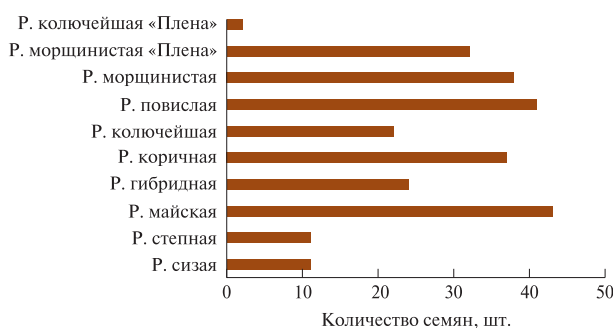


Рис. 4. Количество семян в плодах некоторых видов рода *Rosa* L.
 Fig. 4. The seeds number in the fruits of the studied species *Rosa* L.

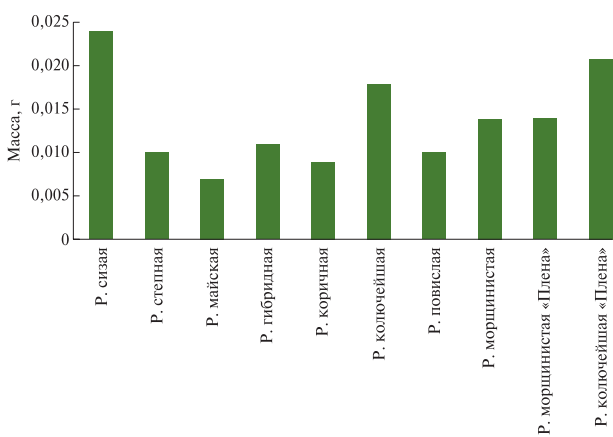


Рис. 5. Средняя масса одного семени у некоторых видов рода *Rosa* L.
 Fig. 5. Average weight of one seed for some species *Rosa* L.

массы плода у *R. майской* составляет 26,2 %, что является средним показателем среди исследуемых представителей рода *Rosa* L.

Рассмотрим показатели ширины, толщины и длины плодов исследуемых видов (рис. 3).

Самые крупные плоды зафиксированы у *R. морщинистой «Плена»*, *R. морщинистой* и *R. гибридной*. Они относятся к крупноплодным видам. Однако *R. колючейшая*, хоть и относится к крупноплодным, показатель массы у нее имеет средние значения. Между тем можно отметить, что у этих видов длина (15,43; 18,47 и 15,74 мм соответственно) значительно уступает ширине (24,12; 23,42 и 19,97 мм) и толщине (23,19; 22,24 и 19,18 мм), что обусловлено приплюснутостью формы плодов. А.С. Соломенцева [34, 35] указывает, что в условиях Волгоградской области в озеленительных посадках длина плода у *R. морщинистой* и *R. колючейшей* составляет 13,3 и 10,8 мм соответственно, что ниже таких же показателей у видов, произрастающих в Дендросаду САФУ.

Наименьшие плоды у *R. колючейшей «Плена»* (длина 10,04 мм, ширина 9,99 мм, толщина 9,74 мм) и *R. степной* (9,47; 10,70 и 9,69 мм соответственно). У *R. сизой* показатель длины (13,59 мм) превышает показатели ширины и толщины, что говорит о ее вытянутой форме. Плоды остальных видов имеют шаровидную форму (см. рис. 3) при незначительной разнице в морфометрических показателях.

По количеству семян в плоде можно заключить (рис. 4), что наибольшее число семян у плодов *R. майской* (43 шт.), *R. повислой* (41 шт.), *R. морщинистой* (38 шт.) и *R. коричной* (37 шт.). У *R. колючейшей «Плена»* всего 2 шт. семян, что в 19–21 раз меньше, чем у многосемянных видов.

Что касается средней массы одного семени (рис. 5), то тяжелее всего семя у *R. сизой* (0,024 г) и *R. колючейшей «Плена»* (0,021 г), у последней в плоде всего 2 шт. семян, что, безусловно, отразилось на их массе. Наиболее легкие (0,007 г) и самые многочисленные (43 шт.) семена у *R. майской*, т. е. в 3–3,4 раза.

При проведении статистической обработки результатов взрезывания была доказана достоверность. Доброкачественность семян некоторых представителей рода *Rosa* L. отражает рис. 6.

Самой высокой доброкачественностью обладают семена р. коричной (93,8 %). Минимальный показатель количества полнозернистых здоровых семян отмечен у р. колючейшей «Плена» (75 %).

Доброкачественность семян варьирует из года в год. Наиболее стабильная доброкачественность у р. колючейшей. Она изменяется в пределах 0,8...4,5 % в различные вегетационные периоды. У р. морщинистой значение доброкачественности достигает 15 %.

Выводы

Наиболее крупными плодами в Дендросаду САФУ обладают р. морщинистая, р. морщинистая «Плена» и р. гибридная. Плоды имеют шарообразную, приплюснутую и вытянутую формы. Самая большая масса у плодов р. морщинистой и р. колючейшей, а наименьшая у р. степной. Наибольшее количество семян у р. коричной, р. сизой и р. повислой, максимальное — у р. коричной и р. повислой. Наиболее легкие семена у р. майской и р. коричной.

По результатам исследований можно выявить наиболее перспективные виды, способные натурализоваться в условиях Севера и успешно и полноценно плодоносить, давать здоровое потомство в районе интродукции для введения его в урбанofлору.

Список литературы

[1] Бузунова И.О., Хапугин А.А., Агеева А.М., Варгот Е.В. Новые находки шиповников (*Rosa* L., *Rosaceae* Adans.) в Средней России // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический, 2012. Т. 117. Вып. 6. С. 76.

[2] Бузунова И.О. *Rosa* L. — Шиповник, или Роза. Флора средней полосы европейской части России. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2014. С. 164–170.

[3] Wissemann V. Conventional taxonomy of wild roses. Encyclopedia of *Rosa* science / Eds. by A. Roberts, T. Debenner, S. Gudin. London: Academic Press, 2003, pp. 111–117.

[4] Wiersema J.H., McNeill J., Turland N., Barrie F.R., Buck W.R., Demoulin V., Greuter W. et al. (eds. & comps.). International Code of Nomenclature for algae, fungi, and plants (Melbourne Code), adopted by the Eighteenth International Botanical Congress Melbourne, Australia (July 2011); Appendices II–VIII. Regnum Vegetabile. Königstein: Koeltz Scientific Books, 2015, 492 p.

[5] Игнатьев Б.Д. Шиповник и его использование. Новосибирск: Типография № 1, 1946. 322 с.

[6] Феклисов П.А. Насаждения деревьев и кустарников в урбанизированной среде г. Архангельска. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2004. 112 с.

[7] Демидова Н.А., Дуркина Т.М. Каталог коллекции древесных растений Дендрологического сада им. В.Н. Ниловой ФБУ «Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства» / под ред. Н.А. Демидовой. Архангельск: Изд-во СевНИИЛХ, 2013. 144 с.

[8] Булыгин Н.Е., Фирсова Г.А. Интродукция растений и дендромелиорация урбанизированной среды. СПб.: [б. и.], 1992. 132 с.

[9] Gu C., Robertson K.R. *Rosa* L. Flora of China / Eds. by Z.-Y. Wu, P.M. Raven. Beijing: Science Press; St. Louis: Missouri Botanic Garden Press, 2003, v. 9, pp. 368–369.

[10] Nybom H. Introduction to *Rosa*. Genetics and Genomics of *Rosaceae* / Eds. by K.M. Folta, S.E. Gardiner. NY: Springer New York, 2009, v. 6, pp. 339–351.

[11] Хапугин А.А., Силаева Т.Б. *Rosa glabrifolia* Rupr. ex C.A. Meу в национальном парке «Смолянский» // Вестник Мордовского университета. Серия Биологические науки, 2011. № 4. С. 148–151.

[12] Подковыров И.Ю., Соломенцева А.С. Применение шиповников для повышения декоративности и долговечности озеленительных посадок // Известия Нижегородского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование, 2013. № 3. С. 98–103.

[13] Лапенко Н.Г., Община Е.Н., Хрипунов А.И. Искусственные насаждения как способ оптимизации агроландшафтов // Известия Горского государственного аграрного университета, 2019. Т. 56. № 3. С. 74–80.

[14] Bruun H.H. Prospects for biocontrol of invasive *Rosa rugosa* // BioControl, 2006, v. 51, pp. 141–181.

[15] Kollmann J., Frederiksen L., Vestergaard P., Bruun H.H. Limiting factors for seedling emergence and establishment of the invasive non-native *Rosa rugosa* in a coastal dune system // Biol. Invasions, 2007, v. 9, pp. 31–42.

[16] Козлова А.Б., Захарова Е.Б., Черноситова Т.Н. Оценка развития и продуктивности перспективных сортов шиповника в условиях Благовещенска // Дальневосточный аграрный вестник, 2018. № 4 (48). С. 93–97.

[17] Кольцов А.Ф., Бардакова С.А. Виды шиповника (*Rosa* L.) в Ставропольском ботаническом саду // Вестник АПК Ставрополя, 2019. № 2 (34). С. 62–64. DOI: 10.31279/2222-9345-2019-8-34-62-64

[18] Козлова М.В. Эколого-биологические особенности *Rosa glauca* Poir., *Rosa canina* L., *Rosa majalis* Herrm. при использовании в качестве подвоев садовых роз в лесостепи Западной Сибири // Самарский научный вестник, 2021. Т. 10. № 4. С. 61–67. DOI: 10.24411/1999-6837-2018-14086

[19] Суворова И.В., Сорокопудов В.Н. *Rosa rugosa* Thunb. в антропогенных условиях г. Москвы // Вестник ландшафтной архитектуры, 2022. № 29. С. 67–70.

[20] Popek R. Dzikie rosnaće róże Europy. Kraków: Officina Botanica, 2007, 120 p.

[21] Sołtys-Lelek A. Chorology of critical genera – *Crataegus* L., *Rosa* L., *Rubus* L. in the Kraków-Częstochowa Upland (southern Poland) // Prądnik. Prace i Materiały Muzeum im. Prof. Władysława Szafera. Ojców, 2011, v. 21, pp. 5–109.


[22] Sołtys-Lelek A., Barabasz-Krasny B. Genera *Crataegus* L. and *Rosa* L. of the biosphere reserve «Roztochya» and adjacent areas (Roztochya (Roztocze) Hills, Western Ukraine) // Вісник Львівського університету. Серія біологічна, 2013, v. 63, pp. 86–97.

[23] Sołtys-Lelek A., Barabasz-Krasny B., Turis P., Turisova I. Morphological differentiation of *Rosa agrestis* (Savi) in the buffer zone of the Low Tatras national park (Slovakia) // Modern Phytomorphology, 2014, v. 5, pp. 53–61.

[24] Арсибекова Л.А., Мухаметова С.В. Анализ плодonoшения сортов шиповника в Республике Марий Эл // Международный журнал гуманитарных и естественных наук, 2019. № 11–1 (38). С. 43–46. DOI: 10.24411/2500-1000-2019-11694

- [25] Nitievskaya K.N. Research of the process of hydration of *Rosa majalis* // Modern Science and Innovations, 2020, no. 4 (32), pp. 76–82. DOI: 10.37493/2307-910X.2020.4.11
- [26] Орлова Ю.В. Общая характеристика условий произрастания зеленых насаждений в городе Братске // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки, 2022. Т. 1. С. 149–154.
- [27] Семенова В.И., Мухаметова С.В. Показатели семян шиповников в ботаническом саду-институте ПГТУ // Международный журнал гуманитарных и естественных наук, 2022. № 6–1 (69). С. 34–36. DOI: 10.24412/2500-1000-2022-6-1-34-36
- [28] Нилов В.Н., Павлова М.А. Шиповники Севера и использование их генофонда в селекционной работе // Флора Севера и растительные ресурсы европейской части СССР: тез. докл. науч. сес., посвящ. 50-летию издания книги И.А. Перфильева «Флора северного края». Архангельск: [б. и.], 1987. С. 123–124.
- [29] Малаховец П.М., Тисова В.А. Деревья и кустарники дендросада Архангельского государственного технического университета. Архангельск: Изд-во АГТУ, 1999. 50 с.
- [30] Малаховец П.М., Тисова В.А. Плодоношение интродуцентов в условиях Севера // Лесной журнал, 1995. № 6. С. 40–45.
- [31] Боженов С.Н., Федорова Д.Г., Укенов Б.С. Зависимость всхожести семян *Rosa glauca* Dierb. от сроков их посева // Использование и охрана природных ресурсов в России, 2021. № 3 (167). С. 58–60. DOI: 10.24411/1999-6837-2018-14086
- [32] Демидова Н.А., Дуркина Т.М., Гоголева Л.Г. Коллекция красивоцветущих кустарников дендрологического сада им. В.Н. Нилова «СевНИИЛХ» // Лесохозяйственная информация, 2021. № 1. С. 56–72.
- [33] Демидова Н.А., Дуркина Т.М., Гоголева Л.Г. Некоторые итоги интродукционного испытания древесных растений на Европейском Севере // Наука — лесному хозяйству Севера: сб. науч. тр. Архангельск: Изд-во СевНИИЛХ, 2019. С. 171–181.
- [34] Соломенцева А.С. Внутривидовой полиморфизм шиповников в условиях засушливой зоны как фактор повышения биоразнообразия урбанизированных территорий // Наука. Мысль: электронный периодический журнал, 2016. № 7–1. С. 117–127.
- [35] Соломенцева А.С. Декоративные виды шиповников для озеленения Волгоградской области // Лесной вестник. Forestry Bulletin. 2020. Т. 24. № 1. С. 41–50. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-1-41-50

Сведения об авторах

Сунгурова Наталья Рудольфовна  — д-р с.-х. наук, доцент кафедры ландшафтной архитектуры и искусственных лесов Высшей школы естественных наук и технологий, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (САФУ), n.sungurova@narfu.ru

Страздаускене Светлана Рудольфовна — аспирант кафедры ландшафтной архитектуры и искусственных лесов Высшей школы естественных наук и технологий, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (САФУ), svsun@bk.ru

Стругова Галина Николаевна — магистрант Высшей школы естественных наук и технологий, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (САФУ), strugova.galina@yandex.ru

Макаров Сергей Сергеевич — д-р с.-х. наук, зав. кафедрой декоративного садоводства и газоноведения; профессор кафедры ландшафтной архитектуры и искусственных лесов Высшей школы естественных наук и технологий, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (САФУ); ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет — Московская сельскохозяйственная академия имени К.А. Тимирязева», s.makarov@narfu.ru

Бессчетнов Владимир Петрович — д-р биол. наук, профессор, декан факультета лесного хозяйства, заведующий кафедрой лесных культур, ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный агротехнологический университет»

Поступила в редакцию 10.05.2023.

Одобрено после рецензирования 23.06.2023.

Принята к публикации 18.07.2023.

GENUS *ROSA* L. FRUITS AND SEED QUALITY MORPHOMETRIC INDICES

N.R. Sungurova¹✉, S.R. Strazdauskene¹, G.N. Strugova¹,
S.S. Makarov^{1,2}, V.P. Besschetnov³

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

²Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 49, Timiryazevskaya st., 127550, Moscow, Russia

³Nizhny Novgorod State Agrotechnological University, 97, Gagarin av., 603107, Nizhny Novgorod, Russia

n.sungurova@narfu.ru

The analysis of fruits morphometric indices of various representatives of the genus *Rosa* L. growing in the SAFU dendrological garden is given. It is established that the largest fruits are produced by ramanas rose, ramanas «Plena» and cross roses. Indices of fruit parameters were determined, which are characterised by spherical, flattened and elongated shapes. It was found that the largest fruits mass has a ramanas rose and a Scotch rose, and the smallest fruits belong to a Michigan rose. It was observed that the highest percentage of seed content was found in a cinnamon rose, a blue rose and a hanging rose, while their fruits had the maximum number of seeds, except for the blue rose. It is shown that a rose de Mai and a cinnamon rose have the lightest seeds, while the seeds of a cinnamon rose have the highest quality (93.8 %). The minimum indicator of full-grained healthy seeds was observed in Scotch rose «Plena» (75 %).

Keywords: roses, rosehips, fruits, seeds, germination, germination energy

Suggested citation: Sungurova N.R., Strazdauskene S.R., Strugova G.N., Makarov S.S., Besschetnov V.P. *Morfometricheskie pokazateli plodov i kachestvo semyan nekotorykh predstaviteley roda Rosa L.* [Genus *Rosa* L. fruits and seed quality morphometric indices]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2023, vol. 27, no. 5, pp. 127–137. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-5-127-137

References

- [1] Buzunova I.O., Khapugin A.A., Ageeva A.M., Vargot E.V. *Novye nahodki shipovnikov (Rosa L., Rosaceae Adans.) v srednei Rossii* [New findings of rosehip (*Rosa* L., Rosaceae Adans.) in Central Russia]. *Byul. MOIP. Ed. biol.* 2012, v. 117, iss. 6, 76 p.
- [2] Buzunova I.O. *Rosa L. — Shipovnik, ili roza* [*Rosa* L. — Rosehip, or rose]. *Flora of the middle zone of the European part of Russia*. Moscow: Comrade Scientific ed. KMK, 2014, pp. 164–170.
- [3] Wissemann V. Conventional taxonomy of wild roses. *Encyclopedia of Rosa science* / Eds. by A. Roberts, T. Debener, S. Guddin. London: Academic Press, 2003, pp. 111–117.
- [4] Wiersema J.H., McNeill J., Turland N., Barrie F.R., Buck W.R., Demoulin V., Greuter W. et al. (eds. & comps.). *International Code of Nomenclature for algae, fungi, and plants (Melbourne Code)*, adopted by the Eighteenth International Botanical Congress Melbourne, Australia (July 2011); Appendices II–VIII. *Regnum Vegetabile*. Königstein: Koeltz Scientific Books, 2015, 492 p.
- [5] Ignatiev B.D. *Shipovnik I ego ispol'zovanie* [Rosehip and its use]. Novosibirsk: Printing House, 1946, no. 1, 322 p.
- [6] Feklisov P.A. *Nasazdeniy derev'ev i kustarnikov v urbanizirovannoi srede g.Arangel'ska* [Planting of trees and shrubs in the urbanized environment of Arkhangelsk]. Arkhangelsk: Publishing house of AGTU, 2004, 112 p.
- [7] Demidova N.A., Durkina T.M. *Katalog kollektii drevnykh rastenii Dendrologicheskogo sada imeni N.V. Nilova FBU «Severnny nauchno-issledovatel'skii institut lesnogo hozyaystva»* [Catalogue of the collection of woody plants of the V.N. Nilov Arboretum Garden of the Northern Research Institute of Forestry]. Ed. by N.A. Demidova. Arkhangelsk: SevNIILKh, 2013, 144 p.
- [8] Bulygin N.E., Firsova G.A. *Introduktsiya rastenii i dendromelioratsiya urbanizirovannoi sredy* [Introduction of plants and dendromelioration of urbanized environment]. St. Petersburg, 1992, 132 p.
- [9] Gu C., Robertson K.R. *Rosa L.* *Flora of China* / Eds. by Z.-Y. Wu, P.M. Raven. Beijing: Science Press; St. Louis: Missouri Botanic Garden Press, 2003, v. 9, pp. 368–369.
- [10] Nybom H. Introduction to *Rosa*. *Genetics and Genomics of Rosaceae* / Eds. by K.M. Folta, S.E. Gardiner. NY: Springer New York, 2009, v. 6, pp. 339–351.
- [11] Khapugin A.A., Silaeva T.B. *Rosa glabrifolia* Rupr. ex C.A. Mey v natsional'nom parke «Smol'nyi» [*Rosa glabrifolia* Rupr. ex C.A. Mey in the Smolny National Park]. *Vestnik Mordovskogo un-ta. Ser. «Biologicheskie nauki»* [Bulletin of the Mordovian University. Ser. «Biological Sciences»], 2011, no. 4, pp. 148–151.
- [12] Podkovyrov I.Yu., Solomentseva A.S. *Primenenie shipovnikov dly povysheniy dekorativnosti i dolgovechnosti ozelenitel'nykh posadok* [The use of rose hips to increase the decorative effect and durability of landscaping plantings]. *Izvestiya Nizhnevolskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [News of the Nizhnevolsky agro-university complex: science and higher professional education], 2013, no. 3, pp. 98–103.
- [13] Lapenko N.G., Obschchiya E.N., Khripunov A.I. *Iskustvennyye nasazdeniy kak sposob optimizatsii agrolandshaftov* [Artificial plantings as a way to optimize agricultural landscapes]. *Izvestiya Gorskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Proceedings of the Gorsky State Agrarian University], 2019, v. 56, no. 3, pp. 74–80.
- [14] Bruun H.H. Prospects for biocontrol of invasive *Rosa rugosa*. *BioControl*, 2006, v. 51, pp. 141–181.
- [15] Kollmann J., Frederiksen L., Vestergaard P., Bruun H.H. Limiting factors for seedling emergence and establishment of the invasive non-native *Rosa rugosa* in a coastal dune system. *Biol. Invasions*, 2007, v. 9, pp. 31–42.

- [16] Kozlova A.B., Zakharova E.B., Chernositova T.N. *Otsenka razvitiya i produktivnosti perspektivnykh vidov shipovnika v usloviyakh Blagoveshchensk* [Evaluation of the development and productivity of promising varieties of rosehip in the conditions of Blagoveshchensk]. *Dal'nevostochnyy agrarnyy vestnik* [Far East Agrarian Bulletin], 2018, no. 4 (48), pp. 93–97.
- [17] Koltsov A.F., Bardakova S.A. *Vidy shipovnikov (Rosa L.) v Stavropol'skom botanicheskom sadu* [Types of rosehip (*Rosa* L.) in the Stavropol Botanical Garden]. *Vestnik APK Stavropol'ya* [Bulletin of the Agroindustrial complex of Stavropol], 2019, no. 2 (34), pp. 62–64. DOI: 10.31279/2222-9345-2019-8-34-62-64
- [18] Kozlova M.V. *Ekologo-biologicheskie osobennosti Rosa glauca Pourr., Rosa canina L., Rosa majalis Herrm. pri ispol'zovanii v kachestve podvoev sadovykh roz v lesostepi Zapadnoi Sibiri* [Ecological and biological features of *Rosa glauca* Pourr., *Rosa canina* L., *Rosa majalis* Herrm. when used as rootstocks of garden roses in the forest-steppe of Western Siberia]. *Samarskiy nauchnyy vestnik* [Samara Scientific Bulletin], 2021, v. 10, no. 4, pp. 61–67. DOI: 10.24411/1999-6837-2018-14086
- [19] Suvorova I.V., Sorokopudov V.N. *Rosa rugosa* Thunb. v antropogennykh usloviyakh g. Moskvy [Rosa rugosa Thunb. in anthropogenic conditions of Moscow]. *Vestnik landshaftnoy arkhitektury* [Bulletin of Landscape Architecture], 2022, no. 29, pp. 67–70.
- [20] Popek R. *Dziko rosnące róże Europy*. Kraków: Oficyna Botanica, 2007, 120 p.
- [21] Sołtys-Lelek A. Chorology of critical genera — *Crataegus* L., *Rosa* L., *Rubus* L. in the Kraków-Częstochowa Upland (southern Poland). *Pracze i Materiały Muzeum im. Prof. Władysława Szafera*. Ojców, 2011, v. 21, pp. 5–109.
- [22] Sołtys-Lelek A., Barabasz-Krasny B. Genera *Crataegus* L. and *Rosa* L. of the biosphere reserve «Roztochya» and adjacent areas (Roztochya (Roztocze) Hills, Western Ukraine). *Вісник Львівського університету. Серія біологічна*, 2013, v. 63, pp. 86–97.
- [23] Sołtys-Lelek A., Barabasz-Krasny B., Turis P., Turisova I. Morphological differentiation of *Rosa agrestis* Savi in the buffer zone of the Low Tatras national park (Slovakia). *Modern Phytomorphology*, 2014, v. 5, pp. 53–61.
- [24] Arsibekova L.A., Mukhametova S.V. *Analiz plodonosheniya sortov shipovnika v Respublike Marii El* [Analysis of the fruiting of rosehip varieties in the Republic of Mari El]. *Mezhdunarodnyy zhurnal gumanitarnykh i estestvennykh nauk* [International J. of Humanities and Natural Sciences], 2019, no. 11–1 (38), pp. 43–46. DOI: 10.24411/2500-1000-2019-11694
- [25] Nitievskaya K.N. Research of the process of hydration of *Rosa majalis*. *Modern Science and Innovations*, 2020, no. 4 (32), pp. 76–82. DOI: 10.37493/2307-910X.2020.4.11
- [26] Orlova Yu.V. *Obshchaya kharakteristika usloviy proizrastaniya zelenykh nasazhdenii v gorode Bratske* [General characteristics of the growing conditions of green spaces in the city of Bratsk]. *Trudy Bratskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye i inzhenernye nauki* [Proceedings of the Bratsk State University. Series: Natural and Engineering Sciences], 2022, v. 1, pp. 149–154.
- [27] Semenova V.I., Mukhametova S.V. *Pokazateli semyn shipovnikov v botanicheskom sadu-institute PGTU* [Indicators of rosehip seeds in the Botanical garden-Institute of PGTU]. *Mezhdunarodnyy zhurnal gumanitarnykh i estestvennykh nauk* [International Journal of Humanities and Natural Sciences]. 2022, no. 6–1 (69), pp. 34–36. DOI: 10.24412/2500-1000-2022-6-1-34-36
- [28] Nilov V.N., Pavlova M.A. *Shipovniki Severa i ispol'zovanie ih genofonda v selektsionnoi rabote* [Briers of the North and the use of their gene pool in breeding work]. *Flora Severa i rastitel'nye resursy evrop. chasti SSSR: tez. dokl. nauch. sess., posvyashch. 50-letiyu izdaniya knigi I.A. Perfil'eva «Flora severnogo kraya»* [Flora of the North and plant resources of Europe. parts of the USSR: tez. dokl. nauch. sess., dedicated. The 50th anniversary of the publication of the book by I.A. Perfiliev «Flora of the northern region»]. Arkhangelsk, 1987, pp. 123–124.
- [29] Malakhovets P.M., Tisova V.A. *Derev'ya i kustarniki dendrologicheskogo sada Arhangel'skogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Trees and shrubs of the arboretum of the Arkhangelsk State Technical University]. Arkhangelsk: Publishing House of AGTU, 1999, 50 p.
- [30] Malakhovets P.M., Tisova V.A. *Plodonoshenie introdutsentov v usloviyakh Severa* [Fruiting of introduced plants in the conditions of the North]. *Lesnoy zhurnal*, 1995, no. 6, pp. 40–45.
- [31] Bozhenov S.N., Fedorova D.G., Ukenov B.S. *Zavisimost' vshozesti semyn Rosa glauca* Dierb. ot srokov ih poseva [Dependence of germination of *Rosa glauca* Dierb seeds. from the timing of their sowing]. *Ispol'zovanie i okhrana prirodnnykh resursov v Rossii* [Use and protection of natural resources in Russia], 2021, no. 3 (167), pp. 58–60. DOI: 10.24411/1999-6837-2018-14086
- [32] Demidova N.A., Durkina T.M., Gogoleva L.G. *Kollektsiya krasivotvetushih kustarnikov dendrologicheskogo sada imeni V.N. Nilova «SevNIILH»* [Collection of beautifully flowering shrubs of the V.N. Nilov Arboretum Garden «SevNIILH»]. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya* [Forestry information], no. 1, 2021, pp. 56–72.
- [33] Demidova N.A., Durkina T.M., Gogoleva L.G. *Nekotorye voprosy introduktsionnogo ispytaniya drevesnykh rastenii na Evropeiskom Severe* [Some results of the introduction test of woody plants in the European North]. *Nauka — lesnomu khozyaystvu severa: sbornik nauchnykh trudov* [Science — forestry of the North: a collection of scientific papers], 2019, pp. 171–181.
- [34] Solomentseva A.S. *Vnutrividovoi polimorfizm shipovnikov v usloviyakh zasushlivoi zony kak faktor povysheniya bioraznoobraziya urbanizirovannykh territorii* [Intraspecific polymorphism of rose hips in arid zone conditions as a factor of increasing the biodiversity of urbanized territories]. *Nauka. Mysl'* [Nauka. Thought], 2016, no. 7–1, pp. 117–127.
- [35] Solomentseva A.S. *Dekorativnyye vidy shipovnikov dly ozeleneniya Volgogradskoi oblasti* [Decorative types of rose hips for landscaping of the Volgograd region]. *Lesnoy vestnik*. Forestry Bulletin, 2020, vol. 24, no. 1, pp. 41–50. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-1-41-50

Authors' information

Sungurova Natal'ya Rudol'fovna ✉ — Dr. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, n.sungurova@narfu.ru

Strazdauskene Svetlana Rudol'fovna — pg. of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, svsun@bk.ru

Strugova Galina Nikolaevna — pg. of the Higher School of Natural Sciences and Technologies, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, strugova.galina@yandex.ru

Makarov Sergey Sergeevich — Dr. Sci. (Agriculture), Professor of Landscape Architecture and Artificial Forests Chair, Head of Decorative Gardening and Lawn Science Chair of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov; Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, s.makarov@narfu.ru

Besschetnov Vladimir Petrovich — Dr. Sci. (Biology), Professor, Dean of the Faculty of Forestry, Head of the Department of Forest Crops, Nizhny Novgorod State Agrotechnological University

Received 10.05.2023.

Approved after review 23.06.2023.

Accepted for publication 18.07.2023.

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

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЙ МОНИТОРИНГ ДЕХРОМАЦИИ ЛИСТВЫ КАШТАНА КОНСКОГО ОБЫКНОВЕННОГО ПРИ ПОВРЕЖДЕНИИ ОХРИДСКИМ МИНЕРОМ

С.В. Железова

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии» (ФГБНУ ВНИИФ), Россия, 143050, Московская обл., раб. пос. Большие Вяземы, ул. Институт, вл. 5

soferrum@mail.ru

Проведено сопоставление результатов визуальной и инструментальной оценки степени дехромиации листовой пластинки каштана конского обыкновенного при поражении охридским минером *Cameraria ohridella*. Сопоставлены данные обследований модельных деревьев за период 2014–2022 гг. в Московской области. Показана статистически достоверная регрессионная связь между результатами визуальной и инструментальной оценки дехромиации в многолетнем ряду наблюдений. Инструментальный мониторинг состояния листовой пластинки во время вегетации проводили на основе оценки вегетационного индекса NDVI с применением прибора GreenSeeker Handheld® (Trimble). На примере вегетационного сезона 2021 г. представлено сравнение сезонной динамики индекса NDVI листовой пластинки при поражении охридским минером и без поражения. Показано, что пораженные вредителем растения имеют более короткий период вегетации, и в среднем за сезон индекс NDVI на 25...30 % ниже, чем у неповрежденных растений. В многолетнем ряду наблюдений установлено, что переход индекса NDVI через пороговое значение 0,4 у пораженных охридским минером растений наблюдается в среднем на 30...40 дней раньше, чем у здоровых. Рассмотрена возможность оценки дехромиации листовой пластинки по результатам гиперспектральной съемки без визуализации с применением спектрометра Ocean Insight «Flame». Показано, что спектральные характеристики отражательной способности здоровых и поврежденных охридским минером листьев существенно различаются, что было продемонстрировано при сопоставлении кривых спектральной яркости отражения. Выявлены характерные зоны спектра в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах, по которым успешно идентифицируется наличие поражения листьев минером. Установлено, что в области ближнего инфракрасного излучения отражение пораженных листьев существенно ниже, чем у здоровых листьев, что свидетельствует о снижении общей обводненности листовых пластинок каштана при повреждении вредителями. Рекомендуется применение мультиспектральной съемки, вегетационного индекса NDVI и данных оценки спектральной яркости листьев для разработки алгоритмов автоматического определения поражения листовой пластинки каштана конского обыкновенного минирующим вредителем охридский минер.

Ключевые слова: *Cameraria ohridella*, каштан конский обыкновенный, вегетационный индекс NDVI, спектральные характеристики листьев, кривые спектрального отражения, Ocean Insight «Flame» VIS-NIR

Ссылка для цитирования: Железова С.В. Инструментальный мониторинг дехромиации листовой пластинки каштана конского обыкновенного при повреждении охридским минером // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 5. С. 138–148. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-5-138-148

Научно-информационный подход в защите растений на основе оперативных инструментальных обследований позволяет получать объективную и своевременную информацию об оценке распространения и динамике развития вредных организмов, что необходимо при планировании и реализации защитных мероприятий. В 2020-е годы более широко применяются методы инструментального мониторинга для определения повреждений, наносимых вредителями и болезнями растений, поскольку стали доступнее обследования растений с помощью приборов на различных уровнях — от единичной растительной клетки до растительного насаждения и ландшафта в целом. Для этого используются материалы цифровой, мульти- и гиперспектральной

съемки, полученные с разным оптическим и спектральным разрешением. Так, оптическое пространственное разрешение при обследовании клетки растения составляет доли миллиметра, отдельного органа — сантиметры и дециметры, всего насаждения — метры, а уже на уровне ландшафта — сотни метров и километры [1].

Для разных уровней обследования используют различные подходы, и применяют стационарное приборное оборудование (микроскоп с цифровой камерой, спектрометр), либо камеры, установленные на подвижные носители (самоходную машину, беспилотный летательный аппарат). Для обследований ландшафта осуществляют дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) и используют материалы космических съемок. Для всех перечисленных уровней инструментального обследования доступна цифровая, мульти-

и гиперспектральная съемка. При использовании гиперспектральной съемки для оценки состояния растений важное значение имеет спектральный диапазон измерений, включающий в себя длину волн от видимого до коротковолнового инфракрасного излучения, и спектральное разрешение, которое у современных приборов составляет от 0,3 до 6 нм.

Инструментальный мониторинг на основе спектральной съемки можно проводить как при дистанционном, так и при проксимальном (наземном) применении. Инструментальные методы оценки дехромации листы, вызванной разными причинами, являются одновременно и дополнением, и альтернативой визуальному обследованию. Для защиты растений имеются большие возможности мониторинга состояния растительного покрова с применением инструментальных методов и искусственного интеллекта при обработке данных [2]. Важное значение имеет накопление баз данных визуальных изображений повреждений растений различными патогенами или вредителями и пополнение наборов спектральных библиотек растительных объектов при разной степени поражения.

Цель работы

Цель работы — апробация инструментальных методов мониторинга на основе мультиспектральной съемки и спектроскопии в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне для оценки степени поражения листы каштана конского обыкновенного минирующим вредителем *Cameraria ohridella*.

Обоснование выбора объекта

Распространение и вредоносность охридского минера. Охридский минер (*Cameraria ohridella*) — вредитель каштана конского обыкновенного, широко распространен на территории европейской части России [3–8], в Белоруссии [9] и Средней Азии [10], особенно в последние 10–15 лет. Вредитель впервые описан на территории Москвы в 2006 г. [11], где он быстро адаптировался и начал массово размножаться [12], а затем распространился и в других городах европейской части России, нанося существенный вред декоративным посадкам каштана, вплоть до их полного, 100%-го поражения [13].

В условиях умеренно-континентального климата Центрально-Европейского региона РФ вредитель развивается в течение вегетационного сезона в 2–3 генерациях [6, 14, 15]. Для популяции характерно параллельное развитие нескольких поколений, при этом в насаждении одновременно присутствуют разные стадии развития: яйца, личинки разного возраста, куколки, имаго. В случае

массового размножения это приводит к полному прекращению функционирования листового аппарата дерева на 1,5...2 мес. раньше срока, вследствие чего наступает преждевременная дефолиация.

На первых стадиях развития повреждения охридским минером развивается дехромация листы, причем скорость развития личинок и нарастания площади мин зависит от погодных условий. Полный цикл развития вредитель проходит за 42...65 сут [3, 15]. В первую неделю развития вредителей размер мин не превышает 1 %, а через 3 нед. развития достигает 25...60 % их окончательного размера. Дехромация листы зависит не только от стадии развития вредителей, но и от количества мин на листе. Согласно методическим рекомендациям по проведению государственной инвентаризации лесов [16], определена шкала для оценки степени дехромации хвои или листы (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Классы повреждения листового аппарата древесных растений при разной степени дехромации кроны

Damage classes of the woody plants leaf apparatus at different degrees of crown dehromation

Класс повреждения	Степень дехромации кроны, %
0	< 10
1	11–25
2	26–50
3	51–75
4	Более 75

Оценку дехромации крон проводят визуально, желательно в солнечную погоду, для больших площадей лесных насаждений применяют методы ДЗЗ.

Спектральная съемка растительности и инструментальный мониторинг вегетации по индексу NDVI на основе ДЗЗ нашли широкое применение в географических и экологических исследованиях, сельскохозяйственном мониторинге посевов, в распознавании лесных пород и мониторинге распространения вредителей лесных насаждений [17–23]. По результатам мульти- и гиперспектральной съемки выделяют спектральные каналы различных диапазонов, комбинируя которые, в расчетных формулах рассчитывают различные спектральные индексы [24]. По растительным индексам можно оценить развитие зеленой биомассы растений, площадь листовой поверхности, содержание хлорофилла и каротиноидов в листьях, относительные показатели обводненности тканей листы и другие показатели.

Наиболее известный и самый распространенный вегетационный индекс — нормализованный разностный вегетационный индекс NDVI (Normalized Difference NIR/Red Normalized Difference Vegetation Index). Данный индекс уже около 50 лет (с начала 1970-х годов) является общепринятым показателем для оценки и сравнения фотосинтетического аппарата растений [25]. Вегетационный индекс NDVI рассчитывается по простой формуле с учетом интенсивности отражения красной и инфракрасной областей спектра зелеными растениями. Для зеленой вегетирующей растительности индекс NDVI принимает значения приблизительно от 0,20 до 0,90 (теоретически до 1,0). В разные периоды вегетационного сезона и в разные фазы развития индекс NDVI растительного покрова изменяется, т. е. он является динамичным сезонным показателем. В начале вегетации индекс NDVI зависит от площади проективного покрытия листьев и общей площади листовой поверхности. В пик вегетации помимо этих показателей сильное влияние на него оказывает количество хлорофилла в листьях и обводненность тканей, которые, в свою очередь, зависят от обеспеченности растений минеральными элементами (прежде всего азотом) и от метеоусловий вегетационного периода. В общих чертах, индекс NDVI древесных растений возрастает в начале вегетационного сезона, достигает пика примерно через неделю после полного разворачивания листы и в течение лета сохраняется на уровне пиковых значений или чуть ниже, вплоть до начала осеннего обесцвечивания листы.

Сезонную динамику вегетационного индекса NDVI исследуют с помощью ДЗЗ (спутниковая съемка в разных спектральных диапазонах), применяя оптические мультиспектральные камеры для беспилотной съемки и наземного применения [26, 27]. Несмотря на удобство вычислений и широкое использование, индекс NDVI тем не менее имеет ограниченные возможности, например не позволяет различать отдельные виды растений или их сорт [26, 28].

Гиперспектральная съемка, по сравнению с цифровой фотосъемкой и мультиспектральной съемкой, предоставляет больше возможностей для оценки растительности, в особенности для узкоспециализированных ее целей, например в точном земледелии [29] или для защиты растений [30]. Преимущества гиперспектральной съемки заключаются в более высокой чувствительности, возможности целенаправленного подбора спектральных диапазонов для выявления различных заболеваний растений или повреждений вредителями [1, 30].

Следует различать гиперспектральную съемку и спектрометрическую съемку без визуализации.

Последняя является одним из видов нефотографических съемок, т. е. информация об объектах съемки сохраняется не в виде изображения, а в виде набора цифр, зарегистрированных в памяти прибора в процессе регистрации (записи) спектральных характеристик отражения. На основе этих цифр можно построить кривые коэффициента спектральной яркости отражения объекта (КСЯО), которые на разных длинах волн электромагнитного спектра показывают разную интенсивность отражения от изучаемого объекта. Между собой кривые КСЯО будут отличаться для различных объектов в разных диапазонах спектра. Спектрометрирование растительных объектов (листьев, крон деревьев и т. п.) проводят в диапазонах видимого и ближнего инфракрасного электромагнитного излучения при длинах волн от 350 до 1000 нм. У различных моделей спектрометров диапазон съемки и спектральное разрешение может быть разным.

Обработку большого объема данных кривых КСЯО по результатам спектрометрических измерений можно проводить в автоматическом режиме с применением обученных нейросетей [31, 32].

Материалы и методы

Объектом исследования служили модельные деревья каштана конского обыкновенного, имеющие поражения листы охридским минером. Предмет исследования — изучение возможности инструментального обследования пораженных листы на основе мультиспектральной съемки и спектрометрирования в диапазоне от 350 до 1000 нм.

Нами проанализированы результаты традиционного (визуального) и новых инструментальных методов обследования, и выполнена их сравнительная оценка.

Описание объекта. Модельные деревья каштана конского обыкновенного (4 экз.) возрастом 16...25 лет и высотой 6...8 м, диаметр ствола у корневой шейки 18...23 см, были высажены на территории частного домовладения в Можайском районе Московской области в 1998 г. (не пересаживались). Почва участка — дерново-подзолистая тяжелосуглинистая, удобрения под деревья не вносились, в приствольных кругах имеется естественная травянистая растительность, растительный покров разреженный. В данном поселении на территории домовладений и на улицах есть другие экземпляры каштана конского обыкновенного возрастом от 15 до 40 лет. Все они ежегодно заселяются вредителем — охридским минером.

Впервые единичные заселения этого вредителя были отмечены в 2010 г. на дереве в пределах общественной территории, в частности, на въезде в поселение со стороны Минского шоссе.

Массовое размножение вредителя на всех деревьях каштана здесь началось с 2014 г. В некоторые годы вредитель развивался в трех генерациях, полностью уничтожая зеленую листву каштанов. При массовом поражении листва падает преждевременно. В этом случае побеги текущего года физиологически ослаблены, такие ветви плохо переносят перезимовку. Весной последующего года распускание листьев и цветение затруднены, после чего в течение лета верхушечные ветви отмирают.

Кроме того, отмечены попытки заселения охридским минером девичьего винограда пятилистничкового. Начиная с 2019 г. ежегодно выявляются единичные мины личинок первого поколения, размер мин не более 2 мм, и в дальнейшем вредитель на листьях винограда не развивается.

Для оценки состояния листьев использовали два оптических датчика. Сезонную динамику индекса NDVI изучали с помощью датчика GreenSeeker с активным источником излучения. Исследования проводили в масштабе крон деревьев. Во время проведения съемки при движении прибора вдоль кроны в поле зрения («скользящее окно») попадают несколько листьев. В серии наблюдений оценивалась вся нижняя часть кроны, доступная к обследованию с земли. Гиперспектрометрическую съемку без визуализации проводили спектрометром Ocean Insight «Flame» VIS-NIR, работающим по принципу пассивной съемки отражения, т. е. проводится регистрация спектральных характеристик отражательной способности листьев. На основании данных исследований была выполнена оценка спектральной яркости отдельно взятых листьев и их частей как с наличием мин, так и без них.

Оптический датчик GreenSeeker® Handheld Crop Sensor используется для проведения измерений вегетационного индекса NDVI в ручном режиме (рис. 1). Датчик снабжен активным источником света, поэтому может использоваться даже в условиях недостаточной освещенности. Измерение индекса NDVI листвы каштана проводили регулярно в течение вегетационных сезонов 2014–2022 гг. по 4–8 раз за сезон. Оценку индекса NDVI листьев проводили в нижней части кроны на высоте от 1,2 до 2 м от поверхности земли. Расстояние от принимающего окошка прибора до объекта съемки должно быть не менее 45 см, таким образом в поле зрения прибора попадает овальное пятно в кроне размером приблизительно 0,5×0,2 м. В принимающее окно приходит отраженный от поверхности листвы сигнал в области красного и ближнего инфракрасного излучения, используемый для автоматического вычисления индекса NDVI с помощью встроенного алгоритма прибора. Входящий сигнал несет усредненную по



Рис. 1. Оптический датчик GreenSeeker® Handheld Crop Sensor для измерения индекса NDVI

Fig. 1. GreenSeeker® Handheld Crop Sensor for NDVI index measurement

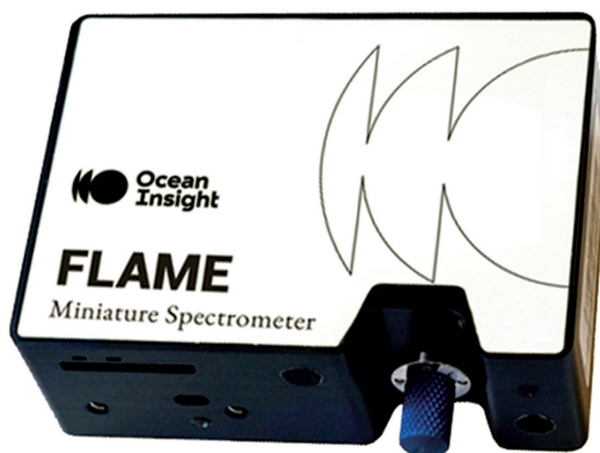


Рис. 2. Спектрометр Ocean Insight «Flame» VIS-NIR, измеряющий яркость отражения в диапазоне видимого и ближнего инфракрасного излучения

Fig. 2. Ocean Insight «Flame» VIS-NIR spectrometer measuring brightness reflectance in the visible and near-infrared range

площади обследования информацию: чем больше пятен на листве, тем слабее поглощение красного цвета и сильнее поглощение инфракрасных лучей. При перемещении над листвой прибор выполняет измерения непрерывно со скоростью два измерения в секунду, пока нажата кнопка включения. После выключения кнопки прибор вычисляет среднее значение индекса NDVI и выводит этот показатель на экран (см. рис. 1). Для обследования одного дерева достаточно 1–2 мин, при этом средний показатель индекса NDVI будет высчитан из 120...240 индивидуальных последовательно полученных значений.

По результатам нескольких измерений индекса NDVI в разные сезоны были построены кривые его сезонной динамики при поражении охридским минером. В качестве контроля (растения без поражения) были взяты усредненные показатели индекса NDVI по другим древесным породам с гладкой неопушенной листвой, не поврежденной вредителями: клену обыкновенному, дубу красному, бархату амурскому. Эти растения произрастают на той же территории в непосредственной близости к модельным деревьям каштана конского в таких же агроэкологических условиях.

Обработку данных по вегетационному индексу NDVI и построение графиков хода сезонной динамики проводили в пакете программ Excel MS Office.

Помимо изучения сезонной динамики индекса NDVI в июле 2022 г. провели однократное измерение спектральной яркости отражения листьев каштана при поражении и без поражения охридским минером. Для этого использовали спектрометр Ocean Insight «Flame» VIS-NIR (рис. 2). Измерения проводили в первой половине дня в условиях рассеянного света с теневой стороны одноэтажного здания. Источником излучения служил солнечный свет. Для анализа были выбраны листья с разной степенью пораженности минером — от 30 до 100 % (как пример — листья на рис. 3). Для проведения съемки листья были сорваны с дерева. В качестве контроля (без поражения) для съемки были использованы непораженные участки листьев. Строго говоря, такие листья не могут служить контролем, так как на них имеются мины вредителя (хотя и в малом количестве), а следовательно, это в любом случае оказывает негативное влияние на физиологический статус листа — лист не может считаться здоровым. Поскольку на модельных деревьях не было ни одного непораженного листа, в качестве контроля пришлось использовать листья других видов растений, либо листья каштана при малом поражении и выбирать на таких листьях непораженные участки.

По каждому листу каштана с разной степенью поражения проведено по 400 измерений КСЯО. Предварительная обработка данных и построение кривых спектральной яркости осуществлялось в специально созданном скрипте на языке программирования Python с использованием стандартных библиотек.

Результаты и обсуждение

Визуальная оценка дехромации листвы была сопоставлена со значениями индекса NDVI в разные сезоны и в разные фазы развития вредителя (рис. 3, табл. 2).

При сопоставлении визуальной оценки (класс дехромации) и инструментальной оценки индекса NDVI по ежегодным данным за май — август выявлена достоверная регрессионная зависимость между этими показателями состояния кроны, которую описывает уравнение параболы (рис. 4). Коэффициент детерминации данного уравнения составляет 0,49 (при $p < 0,05$) для данных, включающих в себя оценки класса дехромации и индекс NDVI в мае, когда листва еще не полностью распустилась. Если исключить майские данные из анализа и оставить только данные летних месяцев, то коэффициент детерминации возрастает до значения 0,76 (при $p < 0,05$). Максимальное значение индекса NDVI за весь период наблюдений составляло 0,84, причем это значение встречалось даже при дехромации класса 2. Это говорит о том, что оценка дехромации по классам грубее, чем инструментальная оценка. В целом, индекс NDVI древесных растений в Подмоскowie в начале июля (в пик вегетации) при благоприятных метеоусловиях составляет 0,85...0,90.

Сезонная динамика индекса NDVI древесных растений зависит от метеоусловий вегетационного сезона и влияния угнетающих растения факторов — засухи, недостаточного минерального питания, развития болезней, размножения вредителей. На рис. 5 представлена сезонная (за 2021 г.) динамика индекса NDVI каштана конского, поврежденного охридским минером в сильной степени, по сравнению с листвой крон деревьев с нормальным развитием и без повреждения вредителями.

Концом периода активного фотосинтеза можно считать снижение значения индекса NDVI ниже 0,4. Пораженные вредителем растения имеют более короткий период вегетации, и в среднем за сезон индекс NDVI на 25...30 % ниже, чем у неповрежденных растений. Переход индекса NDVI через пороговое значение 0,4 у пораженных охридским минером растений наблюдается в среднем на 30...40 дней раньше, чем у здоровых.

Индекс NDVI рассчитывается по сопоставлению всего двух длин волн — красного и ближнего инфракрасного диапазонов. Однако более подробную информацию содержат в себе спектральные сигнатуры здоровых и пораженных листьев, полученные при проведении спектрометрирования.

Яркость отражения в разных диапазонах спектра у здоровых и пораженных охридским минером листьев отличается практически зеркально. В видимом диапазоне спектра (VIS) отражение пораженных листьев существенно более яркое по всему диапазону, чем у здорового листа. В то

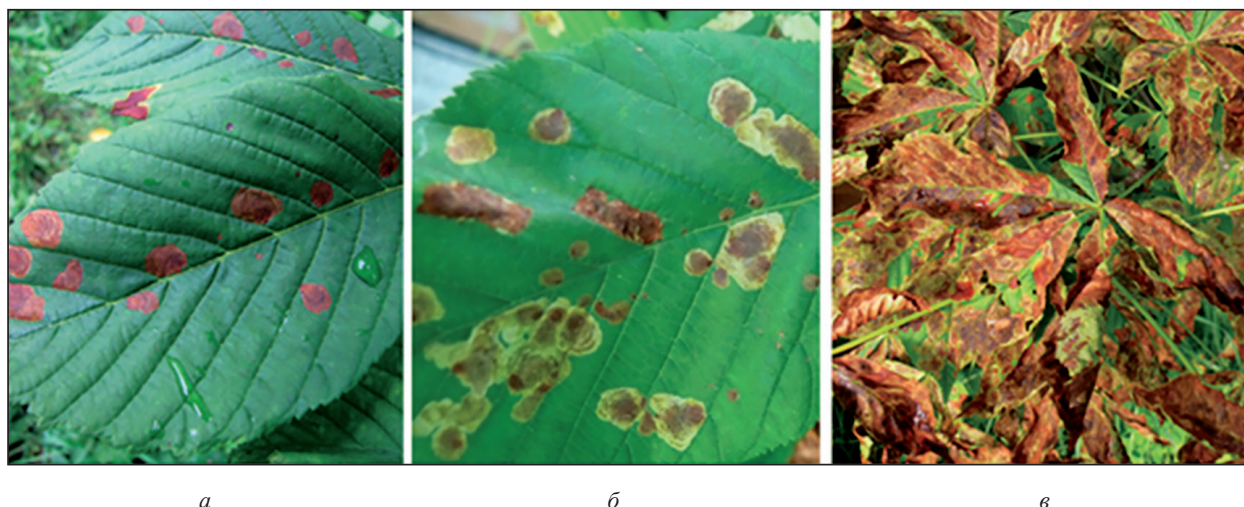


Рис. 3. Сопоставление визуальной оценки степени пораженности листовых пластинок каштана конского охридским минером (%) и инструментального обследования вегетационного индекса NDVI прибором GreenSeeker® Handheld Crop Sensor: *a* — август 2014 г., 5...8 %, NDVI = 0,78...0,80; *б* — август 2015 г., 10...12 %, NDVI = 0,74...0,76; *в* — август 2016 г., 80...85 %, NDVI = 0,55...0,57

Fig. 3. Comparison of visual assessment of the horse chestnut leaf plates infestation degree by Ochrid Miner (%) and instrumental survey of vegetation index NDVI by GreenSeeker® Handheld Crop Sensor: *a* — August 2014, 5...8 %, NDVI = 0,78...0,80; *б* — August 2015, 10...12 %, NDVI = 0,74...0,76; *в* — August 2016, 80...85 %, NDVI = 0,55...0,57

Т а б л и ц а 2

Визуальная оценка дехромации листы каштана конского (в классах повреждения) при поражении охридским минером и значения вегетационного индекса NDVI, соответствующие каждому классу повреждения

Visual assessment of horse chestnut foliage dechromatisation (in damage classes) when infected by Ochreidium minerum and NDVI vegetation index values corresponding to each damage class

Год	ГТК	Май		Июнь		Июль		Август	
		Класс	NDVI	Класс	NDVI	Класс	NDVI	Класс	NDVI
2014	0,81	0	0,57...0,65	0	0,80...0,82	0	0,77...0,80	0	0,78...0,80
2015	1,92	0	0,75...0,80	0	0,75...0,76	1	0,72...0,75	2	0,68...0,70
2016	1,31	0	0,78...0,81	3	0,65...0,75	4	0,58...0,64	4	0,43...0,53
2017	2,16	Нет данных		1	0,84...0,85	2	0,80...0,84	4	0,55...0,60
2018	1,15	0	0,68...0,74	2	0,76...0,79	3	0,69...0,73	4	0,57...0,61
2019	1,06	0	0,65...0,68	1	0,79...0,83	2	0,78...0,79	4	0,53...0,59
2020	2,89	0	0,60...0,67	2	0,70...0,72	3	0,53...0,61	4	0,45...0,48
2021	1,32	0	0,50...0,65	0	0,75...0,80	2	0,61...0,64	4	0,55...0,63
2022	1,24	0	0,45...0,57	1	0,78...0,80	3	0,65...0,69	4	0,50...0,53

Примечание. ГТК — гидротермический коэффициент по Селянину за период май — август.

же время в области инфракрасного излучения (NIR) здоровые листья показывают более яркое отражение, чем листья пораженные (рис. 6). В области так называемого «красного склона» (при длинах волн от 680 до 740 нм) и ближнего инфракрасного излучения (длины волн от 750 до 1000 нм) отражение пораженных листьев снижается, что свидетельствует о снижении обводненности тканей растений при повреждении вредителями. По результатам гиперспектральной съемки, косвенно можно судить о степени снижения фотосинтеза и о потере воды растениями. Различия спектральных сигнатур можно рассчи-

тать в автоматическом режиме по разработанным алгоритмам, что позволит оценивать степень дехромации листы каштана и выявлять характерные особенности спектра при повреждении вредителями.

Существенным недостатком гиперспектральной съемки является ее высокая чувствительность к интенсивности освещения объекта. При малейшем изменении освещенности (в частности, при переменной облачности) следует проводить перекалибровку прибора на новые условия. Это существенно ограничивает применение данного метода в полевых условиях.

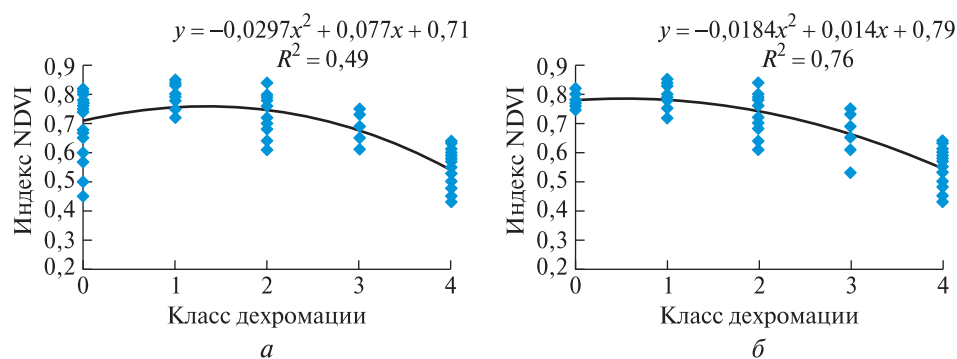


Рис. 4. Регрессионная зависимость результатов визуальной и инструментальной оценки дехромации в многолетнем ряду наблюдений: *a* — по всем месяцам; *б* — только по летним месяцам

Fig. 4. Regression dependence of the visual and instrumental assessment results of dechromacy in a multi-year series of observations: *a* — for all months; *b* — for summer months only

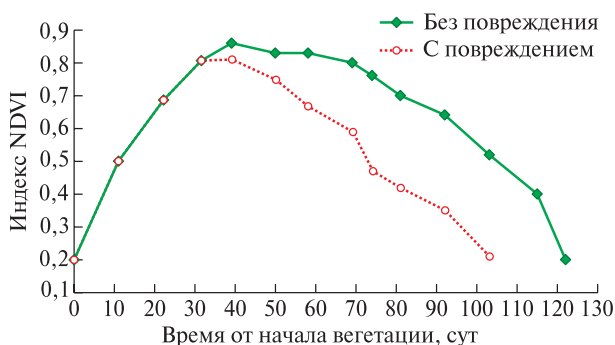


Рис. 5. Сезонная динамика вегетационного индекса NDVI (2021) на примере каштана конского обыкновенного, при повреждении листьев охридским минером и усредненного индекса NDVI древесных пород без повреждения вредителями

Fig. 5. Seasonal dynamics of NDVI vegetation index (2021) on the example of horse chestnut, when leaves were damaged by *Ochridia minerum* and average NDVI index of tree species without pest damage

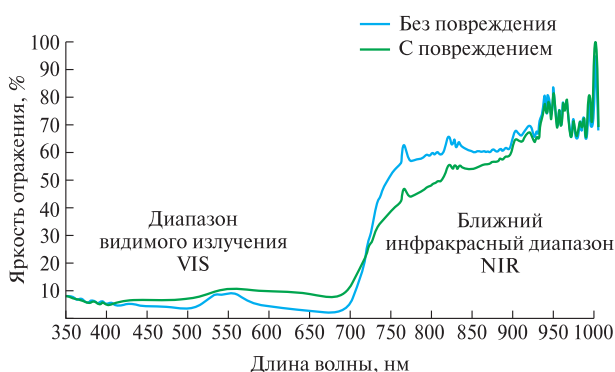


Рис. 6. Кривые спектральной яркости листьев каштана конского обыкновенного неповрежденных и поврежденных охридским минером (поражено 80...90 % площади листьев). Съемка проведена 17 июля 2022 г. при естественном солнечном освещении. Каждая кривая является усредненной из 400 исходных измерений данного объекта

Fig. 6. Spectral brightness curves of horse chestnut leaves undamaged and damaged by *Ochridia miner* (80...90 % of leaf area affected). The survey was conducted on 17 July 2022 under natural sunlight. Each curve is an average of 400 original measurements of the given object

Выводы

При обследовании с применением мульти-спектральной и гиперспектральной съемок отражающей способности листьев каштана конского обыкновенного при поражении их охридским минером было выявлено, что спектр отражения пораженных насекомыми листьев существенно отличается от спектра контрольных растений без поражения. Вычисленный индекс NDVI и его сезонный ход (динамика) позволяют оценивать степень повреждения и сопоставлять его с визуальной оценкой дехромации листьев по классам.

Спектральные сигнатуры здоровых и поврежденных вредителем листьев существенно различаются, причем эти различия закономерны и воспроизводимы для листьев разной степени дехромации. На этом основании можно разработать алгоритм распознавания поврежденных листьев и определения класса дехромации в автоматическом режиме.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, номер проекта 075-15-2021-1409.

Список литературы

- [1] Thomas S., Kuska M.T., Bohnenkamp D., Brugger A., Alisaac E., Wahabzada M., Behmann J., Mahlein A.K. Benefits of hyperspectral imaging for plant disease detection and plant protection: A technical perspective // *J. Plant Dis. Prot.*, 2018, v. 125, pp. 5–20.
- [2] Родимцев С.А., Павловская Н.Е., Вершинин С.В., Зелюкин В.И., Горькова И.В., Гагарина И.Н. Моделирование условий вегетации как инструмент ИТ-технологий управления производственным процессом в растениеводстве : монография. М.: Ай Пи Ар Медиа, 2023. 181 с. DOI: <https://doi.org/10.23682/125019>
- [3] Аникин В.В., Сачков А. Мониторинг распространения инвазивного вида *Cameraria ohridella* (Lepidoptera: gracillariidae) в Самаре в сентябре 2022 года // *Науч. тр. Государственного природного заповедника «Присурский»*, 2022. Т. 37. С. 34–37.
- [4] Гниненко Ю.И., Раков А.Г. Охридский минер, или каштановая минирующая моль-пестрянка // *Защита и карантин растений*, 2011. № 2. С. 34–35.
- [5] Раков А.Г. Охридский минер и другие инвазивные дендрофильные филлофаги в условиях формирования их ареалов в европейской части России: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Москва, 2015.
- [6] Беднова О.В. Охридский минер *Cameraria ohridella* deschka&dimic: особенности инвазивных очагов и перспективы биологического контроля численности // *Лесной вестник / Forestry Bulletin*, 2022. Т. 26. № 1. С. 5–16.
- [7] Мельников Е.Ю. Охридский минер *Cameraria ohridella* (Lepidoptera: gracillariidae) в г. Энгельсе // *Энтомологические и паразитологические исследования в Поволжье*, 2020. № 17. С. 94–97.
- [8] Ряскин Д.И., Кулинич, О.А. Гниненко Ю.И., Арбузова Е.Н. Охридский минер *Cameraria ohridella* deschka & dimic (Lepidoptera: gracillariidae): распространение на территории России и возможные меры контроля // *Фитосанитария. Карантин растений*, 2022. № 1 (9). С. 32–39.
- [9] Гниненко Ю.И., Мухамадиев Н.С., Ашикбаев Н.Ж. Охридский минер *Cameraria ohridella* (Lepidoptera, gracillariidae) – обнаружение в Центральной Азии // *Российский журнал биологических инвазий*, 2016. Т. 9. № 4. С. 14–18.
- [10] Рогинский А.С., Буга С.В. Оценка вредоносности каштановой минирующей моли – инвазивного вредителя зеленых насаждений Беларуси // *Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия биологических наук*, 2020. Т. 65. № 3. С. 374–378.
- [11] Gninenko Y.I., Muhamadiev N.S., Ashikbaev N.Z. *Cameraria ohridella*: the first record in Central Asia // *Russian J. of Biological Invasions*, 2017, t. 8, no. 1, pp. 10–13.
- [12] Каштанова О.А. Охридский минер в дендрарии Главного ботанического сада РАН // *Защита и карантин растений*, 2009. № 11. С. 47.
- [13] Аникин В.В., Аникин Д.Б. Полное заселение охридским минером конского каштана г. Саратова в 2021 году // *Энтомологические и паразитологические исследования в Поволжье*, 2021. № 18. С. 95–101.
- [14] Беднова О.В., Губарев И.В. Особенности очагов охридского минера (*Cameraria ohridella*) в насаждениях Москвы // *Актуальные проблемы лесного комплекса*, 2021. № 59. С. 113–117.
- [15] Łaszczycza P., Nakonieczny M., Kędziorski A., Babczyńska A., Wiesner M. Towards understanding *Cameraria ohridella* (Lepidoptera: Gracillariidae) development: effects of microhabitat variability in naturally growing horse-chestnut tree canopy // *Int J. Biometeorol*, 2021, v. 65, pp. 1647–1658. <https://doi.org/10.1007/s00484-021-02119-8>
- [16] Приказ Рослесхоза от 10.11.2011 N 472 (ред. от 15.03.2018) Об утверждении Методических рекомендаций по проведению государственной инвентаризации лесов. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902325555> (дата обращения 12.12.2022).
- [17] Чабан Л.Н., Березина К.В. Анализ информативности спектральных признаков при классификации растительности по гиперспектральным аэроснимкам // *Изв. вузов «Геодезия и аэрофотосъемка»*, 2018. Т. 62. № 1. С. 85–95. DOI: 10.30533/0536-101X-2018-62-1-85-95
- [18] Кортаева А.Э., Пашкевич М.А. Применение данных спектральной съемки для экологического мониторинга водной растительности // *Горный информационно-аналитический бюллетень (науч.-тех. журн.)*, 2021. № 5–2. С. 231–244.
- [19] Комарова А.Ф., Журавлева И.В., Яблоков В.М. Открытые мультиспектральные данные и основные методы дистанционного зондирования в изучении растительного покрова // *Принципы экологии*, 2016. №1 (17). С. 40–80.
- [20] Якушев В.П., Буре В.М., Митрофанова О.А., Митрофанов Е.П. К вопросу определения степени интенсификации агротехнологий на основе анализа вегетационных индексов растений методами математической статистики // *Агрофизика*, 2022. № 4. С. 40–50.
- [21] Князева С.В., Королева Н.В., Эйшлина С.П., Соколова Е.Н. Оценка состояния растительности в очаге массового размножения сибирского шелкопряда по спутниковым данным // *Лесоведение*, 2019. № 5. С. 385–398.
- [22] Ковалев А.В. Анализ устойчивости лесных насаждений к повреждениям сибирским шелкопрядом по данным дистанционного зондирования // *Сибирский лесной журнал*, 2021. № 5. С. 71–78.
- [23] Аникьев А.А., Хорохоров А.В., Аникьева Э.Н. Методы оценки состояния сельскохозяйственных культур при гиперспектральной съемке листового покрова // *Вестник Мичуринского государственного аграрного университета*, 2020. № 2 (61). С. 31–35.
- [24] Index Database. Международная свободная база данных индексов, используемых для оценки и описания растительных и нерастительных объектов по результатам дистанционного зондирования Земли в разных диапазонах электромагнитного излучения. URL: <http://www.indexdatabase.de/> (дата обращения: 24.04.2023).
- [25] Дубинин М. NDVI — теория и практика. Теоретические основы использования индекса NDVI. URL: <https://gis-lab.info/qa/ndvi.html> (дата обращения 24.04.2023)
- [26] Железова С.В., Гурова Т.А., Гусев Д.В. Использование спутниковых снимков высокого разрешения для оценки состояния посевов на Полевой опытной станции РГАУ–МСХА им. К.А. Тимирязева // *Матер. 2-й Всерос. науч. конф. «Применение средств дистанционного зондирования Земли в сельском хозяйстве»*. СПб.: Изд-во ФГБНУ АФИ, 2018. С. 125–131.
- [27] Железова С.В. Применение оптических датчиков для оценки состояния посевов озимой пшеницы // *Агрофизика*, 2018. №3. С. 42–48. DOI: 10.25695/AGRPH.2018.03.08
- [28] Игнатова М.А., Козловский Б.Л., Дмитриев П.А., Федоринова О.И., Дмитриева А.А., Вардуни Т.В. Сезонная динамика NDVI у видов клена // *Живые и биокосные системы*, 2022. № 39. Ст. 1. DOI: 10.18522/2308-9709-2022-39-1

- [29] Щедрин В.Н., Васильев С.М., Бабичев А.Н., Скиданов Р.В., Подлипов В.В., Журавель Ю.Н. Наземная гиперспектральная аппаратура для измерения вегетативных индексов в задачах прецизионного орошения сельскохозяйственных культур // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации, 2018. № 1 (29). С. 1–14.
- [30] Данилов Р.Ю., Исмаилов В.Я., Третьяков В.А., Кремнева О.Ю., Шумилов Ю.В., Ризванов А.А., Кривошеин В.В., Костенко И.А. Разработка прецизионных технологий фитосанитарного мониторинга агроэкосистем на основе использования данных дистанционного гиперспектрального зондирования Земли // Достижения науки и техники АПК, 2018. Т. 32. № 10. С. 82–86.
- [31] Feng L., Zhu S., Lin F., Su Z., Yuan K., Zhao Y., He Y., Zhang C. Detection of Oil Chestnuts Infected by Blue Mold Using Near-Infrared Hyperspectral Imaging Combined with Artificial Neural Networks // Sensors, 2018, v. 18, p. 1944.
- [32] Zhelezova S.V., Pakholkova E.V., Veller V.E., Voronov M.A., Stepanova E.V., Zhelezova A.D., Sonyushkin A.V., Zhuk T.S., Glinushkin A.P. Hyperspectral Non-Imaging Measurements and Perceptron Neural Network for Pre-Harvesting Assessment of Damage Degree Caused by Septoria/Stagonospora Blotch Diseases of Wheat // Agronomy, 2023, v. 13, p. 1045. <https://doi.org/10.3390/agronomy13041045>

Сведения об авторе

Железова Софья Владиславовна — д-р с.-х. наук, вед. науч. сотр., ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии» (ФГБНУ ВНИИФ), soferrum@mail.ru

Поступила в редакцию 24.05.2023.

Одобрено после рецензирования 14.06.2023.

Принята к публикации 21.08.2023.

HORSE CHESTNUT FOLIAR DECHROMATION INSTRUMENTAL MONITORING DAMAGED BY *CAMERARIA OHRIDELLA*

S.V. Zhelezova

All-Russian Research Institute of Phytopathology, 5, Institut st., 143050, Bolshie Vyazemy, Moscow reg., Russia

soferrum@mail.ru

A comparison of the visual and instrumental assessments of the horse chestnut foliar dechromation degree infested by the Ohrid miner (*Cameraria ohridella*) was carried out. The data of surveys of model trees for the period 2014–2022 in the Moscow region are compared. A statistically reliable regression relationship between the results of visual and instrumental assessment of dechromation in a long-term series of observations is shown. Instrumental monitoring of the leaves damages during the growing season was carried out based on the assessment of the NDVI vegetation index using the GreenSeeker Handheld® (Trimble) device. The seasonal dynamics of the NDVI index of foliage under Ohrid miner damage is presented on the example of the 2021 season. It is shown that the plants affected by the pest have a shorter growing season, and the average NDVI index for the season is 25...30 % lower than that of undamaged plants. In a nine-year series of observations, it was found that the transition of the NDVI index over the threshold value of 0.4 in plants affected by the Ohrid miner is observed on average 30...40 days earlier than in healthy plants. The possibility of assessing foliage dechromation based on the results of hyperspectral imaging without visualization using the Ocean Insight «Flame» spectrometer is considered. It is shown that the spectral characteristics of the reflectivity of healthy and damaged Ohrid miner leaves differ significantly, which was demonstrated by comparing the spectral brightness curves of reflection. Characteristic spectral zones in the visible and near infrared ranges have been identified, according to which the presence of leaf damage by a miner is successfully identified. It was found that in the near-infrared radiation area, the reflection of damaged leaves are significantly lower than that of healthy leaves, which indicates a decrease in the overall water content of chestnut leaf blades when damaged by pests. According to the results of multi- and hyperspectral surveys, it is possible to automatically determine the lesion of the horse chestnut foliage by the leaf-mining pest *Cameraria ohridella*.

Keywords: *Cameraria ohridella*, horse chestnut, NDVI, spectral signatures of leaves, spectral reflection curves, Ocean Insight «Flame» VIS-NIR

Suggested citation: Zhelezova S.V. Instrumental'nyy monitoring dekhromatsii listvy kashtana konskogo obyknovennogo pri povrezhdenii okhridskim minerom [Horse chestnut foliar dechromation instrumental monitoring damaged by *Cameraria ohridella*]. Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin, 2023, vol. 27, no. 5, pp. 138–148. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-5-138-148

References

- [1] Thomas S., Kuska M.T., Bohnenkamp D., Brugger A., Alisaac E., Wahabzada M., Behmann J., Mahlein A.K. Benefits of hyperspectral imaging for plant disease detection and plant protection: A technical perspective. J. Plant Dis. Prot., 2018, v. 125, pp. 5–20.

- [2] Rodimtsev S.A., Pavlovskaya N.E., Vershinin S.V., Zelyukin V.I., Gor'kova I.V., Gagarina I.N. *Modelirovanie usloviy vegetatsii kak instrument IT-tehnologiy upravleniya produktsionnym protsessom v rastenievodstve* [Modeling of vegetation conditions as a tool of IT-technologies for managing the production process in crop production]. Moscow: M.: Ay Pi Ar Media [IPR-media], 2023, 181 p. DOI: <https://doi.org/10.23682/125019>
- [3] Anikin V.V., Sachkov A. *Monitoring rasprostraneniya invazivnogo vida Cameraria ohridella (Lepidoptera: gracillariidae) v Samare v sentyabre 2022 goda* [Monitoring the distribution of the invasive species *Cameraria ohridella* (Lepidoptera: gracillariidae) in Samara in September 2022]. Nauchnye trudy Gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika «Prisurskiy» [Scientific Works of the Prisursky State Nature Reserve], 2022, t. 37, pp. 34–37.
- [4] Gninenko Yu.I., Rakov A.G. *Okhridskiy miner, ili kashtanovaya miniruyushchaya mol'-pestryanka* [Horse chestnut leafminer *Cameraria ohridella*, or chestnut moth moth]. Zashchita i karantin rasteniy [Plant protection and quarantine], 2011, no. 2, pp. 34–35.
- [5] Rakov A.G. *Okhridskiy miner i drugie invazivnye dendrofil'nye fillofagi v usloviyakh formirovaniya ikh arealov v evropeyskoy chasti Rossii* [Horse chestnut leafminer and other dendrophilous phyllophages in the conditions of the formation of their habitats in the European part of Russia]. Dis. Cand. Sci. (Biol.). Moscow, Russian agrarian University, 2015.
- [6] Bednova O.V. *Okhridskiy minor Cameraria ohridella Deschka&Dimic: osobennosti invazionnykh ochagov i perspektivy biologicheskogo kontrolya* [Ohrid miner *Cameraria ohridella* Deschka & Dimic: features of invasive foci and perspectives of biological control]. Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin, 2022, vol. 26, no. 1, pp. 5–16. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-1-5-16
- [7] Mel'nikov E.Yu. *Okhridskiy miner Sameraria ohridella (lepidoptera: gracillariidae) v g. Engel'se* [Horse chestnut leafminer *Cameraria ohridella* (lepidoptera: gracillariidae) in the city of Engels]. Entomologicheskie i parazitologicheskie issledovaniya v Povolzh'e [Entomological and parasitological research in the Volga region], 2020, no. 17, pp. 94–97.
- [8] Ryaskin D.I., Kulnich, O.A. Gninenko Yu.I., Arbuzova E.N. *Okhridskiy miner Sameraria ohridella deschka & dimic (lepidoptera: gracillariidae): rasprostranenie na territorii Rossii i vozmozhnye mery kontrolya* [Horse chestnut leafminer *Cameraria ohridella deschka&dimic* (lepidoptera: gracillariidae): spreading on the Russia territory and possible control measures]. Fitosanitariya. Karantin rasteniy [Phytosanitary. Plant quarantine], 2022, no. 1 (9), pp. 32–39.
- [9] Gninenko Yu.I., Mukhamadiev N.S., Ashikbaev N.Zh. *Okhridskiy miner Sameraria ohridella (lepidoptera, gracillariidae) — obnaruzhenie v Tsentral'noy Azii* [Horse chestnut leafminer *Cameraria ohridella* (lepidoptera: gracillariidae) — finding in the Central Asia]. Rossiyskiy zhurnal biologicheskikh invaziy [Russian Journal of Biological Invasions], 2016, t. 9, no. 4, pp. 14–18.
- [10] Roginskiy A.S., Buga S.V. *Otsenka vredonosnosti kashtanovoy miniruyushchey moli — invazivnogo vreditelya zelenykh nasazhdeniy Belarusi* [Assessment of harmfulness of horse chestnut leafminer, the invasive pest of green park spaces of Belarus]. Izvestiya Natsional'noy akademii nauk Belarusi. Seriya biologicheskikh nauk [Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological sciences series], 2020, t. 65, no. 3, pp. 374–378.
- [11] Gninenko Y.I., Muhamadiev N.S., Ashikbaev N.Z. *Cameraria ohridella: the first record in Central Asia*. Russian J. of Biological Invasions, 2017, t. 8, no. 1, pp. 10–13.
- [12] Kashtanova O.A. *Okhridskiy miner v dendrarii Glavnogo botanicheskogo sada RAN* [Horse chestnut leafminer in the dendrarium of the Main botanical garden of Russian Academy of science]. Zashchita i karantin rasteniy [Plant protection and quarantine], 2009, no. 11, p. 47.
- [13] Anikin V.V., Anikin D.B. *Polnoe zaselenie okhridskim minerom konskogo kashтана g. Saratova v 2021 godu* [The total settlement of horse chestnut leafminer in Saratov-city]. Entomologicheskie i parazitologicheskie issledovaniya v Povolzh'e [Entomological and parasitological research in the Volga region], 2021, no. 18, pp. 95–101.
- [14] Bednova O.V., Gubarev I.V. *Osobennosti ochagov okhridskogo minera (Cameraria ohridella) v nasazhdeniyakh Moskvy* [Features of foci of horse chestnut leafminer (*Cameraria ohridella*) in Moscow green park-spaces]. Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa [Actual problems of forestry complex], 2021, no. 59, pp. 113–117.
- [15] Łaszczycza P., Nakonieczny M., Kędzioński A., Babczyńska A., Wiesner M. *Towards understanding Cameraria ohridella (Lepidoptera: Gracillariidae) development: effects of microhabitat variability in naturally growing horse-chestnut tree canopy*. Int J. Biometeorol, 2021, v. 65, pp. 1647–1658. <https://doi.org/10.1007/s00484-021-02119-8>
- [16] *Prikaz Rosleskhoza ot 10.11.2011 N 472 (red. ot 15.03.2018) Ob utverzhenii Metodicheskikh rekomendatsiy po provedeniyu gosudarstvennoy inventarizatsii lesov* [Order of the Russian Forest Management Committee. On approval of Methodological recommendations for the State forest inventory]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/902325555> (accessed 12.12.2022).
- [17] Chaban L.N., Berezina K.V. *Analiz informativnosti spektral'nykh i tekturnykh priznakov pri klassifikatsii rastitel'nosti po giperspektral'nykh aerosnirkam* [Analysis of the information content of spectral and textural features in the classification of vegetation by hyperspectral aerial photographs]. Izv. vuzov «Geodeziya i aerofotos'emka» [Proceedings of the universities «Geodesy and aerial photography»], 2018, t. 62, no. 1, pp. 85–95. DOI: 10.30533/0536-101X-2018-62-1-85-95
- [18] Korotaeva A.E., Pashkevich M.A. *Primenenie dannykh spektral'noy s'emki dlya ekologicheskogo monitoringa vodnoy rastitel'nosti* [The application of spectral survey for the analysis of aquatic vegetation]. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' (nauchno-tehnicheskii zhurnal) [Mining Information and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)], 2021, no. 5–2, pp. 231–244.
- [19] Komarova A.F., Zhuravleva I.V., Yablokov V.M. *Otkrytye mul'tispektral'nye dannye i osnovnye metody distantsionnogo zondirovaniya v izuchenii rastitel'nogo pokrova* [Open multispectral data and basic remote sensing methods in the study of vegetation cover]. Printsipy ekologii [Principles of ecology], 2016, no. 1 (17), pp. 40–74.
- [20] Yakushev V.P., Bure V.M., Mitrofanova O.A., Mitrofanov E.P. *K voprosu opredeleniya stepeni intensifikatsii agrotekhnologiy na osnove analiza vegetatsionnykh indeksov rasteniy metodami matematicheskoy statistiki* [On the issue of determining the degree of intensification of agrotechnologies based on the analysis of vegetation indices of plants by methods of mathematical statistics]. Agrofizika [Agrophysics], 2022, no. 4, pp. 40–50.
- [21] Knyazeva S.V., Koroleva N.V., Eydlina S.P., Sochilova E.N. *Otsenka sostoyaniya rastitel'nosti v ochage massovogo razmnozheniya sibirskogo shelkopryada po sputnikovym dannym* [Assessment of the state of vegetation in the center of mass reproduction of the Siberian silkworm by satellite data]. Lesovedenie [Forest science], 2019, no. 5, pp. 385–398.
- [22] Kovalev A.V. *Analiz ustoychivosti lesnykh nasazhdeniy k povrezhdeniyam sibirskim shelkopryadom po dannym distantsionnogo zondirovaniya* [Analysis of the resistance of forest stands to damage by Siberian silkworm according to remote sensing data].

- Sibirskiy lesnoy zhurnal [Siberian forest journal], 2021, no. 5, pp. 71–78.
- [23] Anik'ev A.A., Khorokhorov A.V., Anik'eva E.N. *Metody otsenki sostoyaniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur pri giperspektral'noy s'emke listvennogo pokrova* [Methods for assessing the state of agricultural crops in hyperspectral survey of foliage cover]. *Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Michurinsk State Agrarian University], 2020, no. 2 (61), pp. 31–35.
- [24] Index Database. *Mezhdunarodnaya svobodnogo dostupa baza dannykh indeksov, ispol'zuemykh dlya otsenki i opisaniya rastitel'nykh i nerastitel'nykh ob'ektov po rezul'tatam distantsionnogo zondirovaniya Zemli v raznykh diapazonakh elektromagnitnogo izlucheniya* [Index Database. Freely accessible database of indexes used to evaluate and describe plant and non-plant objects based on the results of remote sensing of the Earth in different ranges of electromagnetic radiation]. Available at: <http://www.indexdatabase.de/> (accessed 24.04.2023).
- [25] Dubinin M. *NDVI — teoriya i praktika. Teoreticheskie osnovy ispol'zovaniya indeksa NDVI* [NDVI — theory and practice. Theoretical foundations of using the NDVI index]. Available at: <https://gis-lab.info/qa/ndvi.html> (accessed 24.04.2023).
- [26] Zhelezova S.V., Gurova T.A., Gusev D.V. *Ispol'zovanie sputnikovyykh snimkov vysokogo razresheniya dlya otsenki sostoyaniya posevov na Polevoy opytной stantsii RGAU–MSKhA imeni K.A. Timiryazeva* [The use of high-resolution satellite images to assess the condition of crops at the Field Experimental Station of the RGAU-MSHA named after K.A. Timiryazev]. *Mater. 2-y Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii «Primenenie sredstv distantsionnogo zondirovaniya Zemli v sel'skom khozyaystve»* [Materials of the 2nd All-Russian Scientific Conference «The use of remote sensing of the Earth in agriculture»]. St. Petersburg: Agrophysical Institute, 2018, pp. 125–131.
- [27] Zhelezova S.V. *Primenenie opticheskikh datchikov dlya otsenki sostoyaniya posevov ozimoy pshenitsy* [Application of optical sensors to assess the condition of winter wheat crops]. *Agrofizika* [Agrophysics], 2018, no. 3, pp. 42–48. DOI: 10.25695/AGRPH.2018.03.08
- [28] Ignatova M.A., Kozlovskiy B.L., Dmitriev P.A., Fedorinova O.I., Dmitrieva A.A., Varduni T.V. *Sezonnaya dinamika NDVI u vidov klena* [Seasonal dynamics of NDVI in maple species]. *Zhivye i biokosnye sistemy* [Living and biocontainable systems], 2022, no. 39, at. 1. DOI: 10.18522/2308-9709-2022-39-1
- [29] Shchedrin V.N., Vasil'ev S.M., Babichev A.N., Skidanov R.V., Podlipnov V.V., Zhuravel' Yu.N. *Nazemnaya giperspektral'naya apparatura dlya izmereniya vegetativnykh indeksov v zadachakh pretsizionnogo orosheniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur* [Ground-based hyperspectral equipment for measuring vegetative indices in precision irrigation of agricultural crops]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii* [Scientific Journal of the Russian Research Institute of Land Melioration Problems], 2018, no. 1 (29), pp. 1–14.
- [30] Danilov R.Yu., Ismailov V.Ya., Tret'yakov V.A., Kremneva O.Yu., Shumilov Yu.V., Rizvanov A.A., Krivoshein V.V., Kostenko I.A. *Razrabotka pretsizionnykh tekhnologiy fitosanitarnogo monitoringa agroekosistem na osnove ispol'zovaniya dannykh distantsionnogo giperspektral'nogo zondirovaniya Zemli* [Development of precision technologies for phytosanitary monitoring of agroecosystems based on the use of remote hyperspectral Earth sensing data]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of science and technology of agro-industrial complex], 2018, t. 32, no. 10, pp. 82–86.
- [31] Feng L., Zhu S., Lin F., Su Z., Yuan K., Zhao Y., He Y., Zhang C. Detection of Oil Chestnuts Infected by Blue Mold Using Near-Infrared Hyperspectral Imaging Combined with Artificial Neural Networks. *Sensors*, 2018, v. 18, p. 1944.
- [32] Zhelezova S.V., Pakholkova E.V., Veller V.E., Voronov M.A., Stepanova E.V., Zhelezova A.D., Sonyushkin A.V., Zhuk T.S., Glinushkin A.P. Hyperspectral Non-Imaging Measurements and Perceptron Neural Network for Pre-Harvesting Assessment of Damage Degree Caused by Septoria/Stagonospora Blotch Diseases of Wheat. *Agronomy*, 2023, v. 13, p. 1045. <https://doi.org/10.3390/agronomy13041045>

This research was funded by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, project number 075-15-2021-1409.

Author's information

Zhelezova Sof'ya Vladislavovna — Dr. Sci. (Agriculture), Leading Researcher of the Federal State Budgetary Scientific Institution «All-Russian Research Institute of Phytopathology», soferrum@mail.ru

Received 24.05.2023.

Approved after review 14.06.2023.

Accepted for publication 21.08.2023.

ПОГОДНЫЕ УСЛОВИЯ, СПОСОБСТВУЮЩИЕ ЗАЛОЖЕНИЮ ШИШЕК У СОСНЫ КЕДРОВОЙ СИБИРСКОЙ (*PINUS SIBIRICA* DU TOUR)

А.В. Попов✉, С.Н. Велисевич

ФГБУН «Институт мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения Российской академии наук» (ИМКЭС СО РАН), Россия, 634055, г. Томск, пр. Академический, д. 10/3

tomskceltic@gmail.com

Рассмотрено семеношение у 25 деревьев сосны кедровой сибирской (возраст 180–200 лет) за 28-летний период для установления погодных факторов и периода их влияния на инициацию стробилов. Поскольку флоральная индукция у сосны кедровой сибирской происходит в короткий промежуток времени — в течение трех недель в конце лета, в настоящей работе анализировались динамика температуры и осадков в течение трех декад, начиная с 20 июля. Среднемесячная температура июля и августа, а также сумма осадков в июле и августе слабо влияли на число заложившихся шишек. Также отмечено слабое влияние погодных параметров, рассчитанных для более коротких промежутков времени — по декадам. Температура воздуха в первой и второй декадах июля оказывала слабое положительное влияние на заложение шишек, но с третьей декады этого месяца и в течение всего августа излишнее тепло стало отрицательно влиять на заложение шишек. Единственная значимая отрицательная корреляция установлена для температуры первой декады августа. Это указывает на повышенную чувствительность иницирующихся примордиев шишек к температуре воздуха и именно в этот временной интервал. На примере сосны кедровой сибирской показано, что прохладная погода во время инициации макростробилов способствует их обилию. Оптимальными условиями для заложения шишек у сосны кедровой сибирской являются среднесуточные температуры не выше +17,5 °С в первой декаде августа. Результаты исследования расширяют представления и механизмах климатической регуляции генеративного морфогенеза и важны не только для понимания фундаментальных основ процесса плодоношения, но и для прогнозирования урожаев и управления ими.

Ключевые слова: сосна кедровая сибирская, *Pinus sibirica* (Pinaceae), заложение шишек, температура, осадки, межгодовая изменчивость

Ссылка для цитирования: Попов А.В., Велисевич С.Н. Погодные условия, способствующие заложению шишек у сосны кедровой сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour) // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 5. С. 149–159. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-5-149-159

В теме плодоношения лесных деревьев наиболее интересный вопрос — широкая межгодовая изменчивость урожая семян. При схожих внешних условиях некоторые виды демонстрируют относительную стабильность в динамике плодоношения, другие — ярко выраженную неравномерность семенной продуктивности из года в год. У разных видов в различных ситуациях задействованы не одинаковые элементы механизма, отвечающего за урожайность, т. е. у одних растений семенная продуктивность зависит от годовой динамики внутренних процессов, у других — от погодных сигналов [1].

И погодные условия, и внутренние процессы у растений могут повлиять на семенную продуктивность на всех стадиях развития: в период инициации цветочной почки, при опылении цветка и во время созревания семян. Обобщение многочисленных данных показало, что растения в соответствии с контрастными характеристиками жизненных циклов существенно различаются по времени, когда их развивающиеся цветки наиболее

восприимчивы к действию этих факторов [2]. В зависимости от этого растения могут быть «нерегулярно цветущими», либо «нерегулярно плодоносящими» [2]. Согласно этой точке зрения, у растений «нерегулярно цветущих» затраты на производство семян невелики, поэтому периодичность высоких урожаев семян в значительной мере обусловлена влиянием погодных условий в период цветения и опыления. У видов «нерегулярно плодоносящих» периодичность урожаев в большей степени зависит от перераспределения внутренних ресурсов между ростовыми и генеративными процессами, а погода лишь синхронизирует плодоношение в популяции [2].

Бывает ли такая же нерегулярность на этапе флоральной индукции у многолетних древесных растений, по-прежнему не совсем понятно. Полагаем, что основной причиной, по которой это явление до сих пор мало исследовано, являются методологические ограничения. Довольно сложно и трудоемко вести непосредственный учет количества заложившихся цветочных примордиев в почке, в отличие от легко визуально определя-

емых цветов и плодов. В связи с этим влияние внешних и внутренних факторов на флоральную индукцию оценивают чаще всего по косвенным данным, например, по корреляции между итоговым урожаем и погодой в период заложения цветочных примордиев [3–5]. Эта связь вполне логична, поскольку инициация цветочных почек как эндогенный процесс, находится, тем не менее, под влиянием климатических факторов [6]. Например, отклонение текущих погодных условий от среднесезонных значений вызывают изменения в синтезе гормонов цветения, ответственных за формирование цветочных бутонов, как показано на примере межгодовых вариаций цветения у нерегулярно плодоносящих травянистых видов [7]. Познание механизмов влияния погодных условий на заложение цветочных примордиев важно не только для понимания фундаментальных основ процесса плодоношения, но и для прогнозирования урожаев и управления ими.

Сосна кедровая сибирская — долгоживущий орехоплодный вид, доминирующий в таежных лесах на значительной территории Западно-Сибирской равнины и Среднесибирского плоскогорья [8]. Питательные семена сосны — основа рациона около 23 видов птиц и 10 видов млекопитающих сибирской тайги [9, 10], поэтому от ее урожая зависит устойчивое функционирование многокомпонентных экосистем. Сосна кедровая сибирская относится к видам с ярко выраженной межгодовой изменчивостью урожая семян, так как большие урожаи семян бывают раз в 3–4 года [11]. Недавняя работа по анализу причин нерегулярности семеношения у сосны сибирской показала, что важным фактором этой нерегулярности являются весенние заморозки в период цветения [12], поэтому сосну кедровую сибирскую можно отнести к «нерегулярно цветущим» видам. Однако не вся изменчивость семеношения объясняется заморозками, а существует некоторая не до конца понятная связь итогового урожая с погодой в период заложения [12]. О том, что заложение шишек флуктуирует по годам, свидетельствуют также данные, полученные в разных частях ареала сосны сибирской — в южной тайге Западной Сибири [11], в низкогорье Алтая [13] и на северной границе ареала в районе г. Салехарда [14]. Причины неравномерности заложения шишек при этом специально не анализируются. Поскольку заложение женских стробиллов происходит в довольно короткий промежуток времени — в течение трех недель в конце лета [11], мы предположили, что этот процесс контролируется кратковременными отклонениями погодных условий от среднего многолетнего значения.

Цель работы

Цель работы — установить какие погодные факторы, и в какой период заложения женских стробиллов оказывают влияние на инициацию стробиллов.

Материалы и методы исследования

Памятник природы регионального значения «Ниже-Сеченовский припоселковый кедровник» (56°30' с. ш. и 84°38' в. д., 100 м н. у. м.), в котором собран материал для исследования, расположен на юге Западной Сибири в Обь-Томском междуречье. Этот регион относится к южной зоне западносибирской тайги и по классификации областей семенной продуктивности сосны кедровой сибирской представляет собой зону ее максимальных урожаев [11]. Среднегодовая температура воздуха составляет +1,2 °С, среднегодовое количество осадков — 560 мм.

В ходе исследования мы использовали ретроспективный метод [13], позволяющий по следам на коре оценить ежегодное заложение макростробиллов в период с 1991 по 2018 г. Этот метод широко используется для различных представителей рода *Pinus*, например сосны желтой (*P. ponderosa*) [15], сосны белокорой (*P. albicaulis*) [16], и сосны съедобной (*P. edulis*) [4, 5]. Для формирования макростробиллов сосне кедровой сибирской требуется три вегетационных периода [11]. В течение первого года происходит их заложение, которое начинается в конце июля, продолжается примерно три декады и прерывается зимним периодом. Весной второго года почки развиваются в видимые небольшие макростробиллы, которые опыляются в начале июня и превращаются в «озимь». На этой стадии шишка зимует и весной третьего года продолжает свое развитие. К сентябрю третьего года, через 26 мес. после заложения, шишки окончательно созревают [11]. На любой стадии развития шишки оставляют на ветвях деревьев видимые следы, что позволяет фиксировать ежегодные изменения в заложении и созревании шишек путем подсчета этих следов (рис. 1). Следы от абортированных почек макростробиллов, опыленных шишек, однолетних зимующих шишек и зрелых шишек сильно различаются по размеру и форме. Нами выделены следующие категории следов:

1) небольшой треугольный рубец, оставшийся после абортированной почки, умершей еще до опыления;

2) треугольный рубец, оставшийся после абортирования шишки вскоре после опыления;

3) овальный след от однолетней шишки, которая развивалась после опыления, но абортировалась в зимний период;

4) крупный овальный след, покрытый смолой, остающийся от полностью созревшей шишки.

Однако данный метод не дает возможность определить число шишек, погибших на этапе внутри почечной дифференциации заложившихся примордиев женских шишек. Во всех остальных случаях довольно точно можно определить число шишек, абортированных в процессе развития. В настоящей работе число заложившихся шишек равно сумме следов представленных четырех категорий.

Нами изучено семеношение у 25 деревьев сосны кедровой сибирской (возраст 180–200 лет) за 28-летний период (1991–2018). В 2001, 2007, 2013 и 2019 гг. с каждого дерева было отобрано по 3...5 ветвей из женского яруса кроны, которые имели не менее 15 однолетних побегов. В каждый год отбора образцов ветвей подсчитывали количество шишек за предыдущие 12...15 лет. Отдельные ряды были объединены для получения непрерывного ряда наблюдений за 28 лет.

Данные о погодных условиях получены с метеостанции, расположенной в г. Томске (Росгидромет), в 22 км южнее места проведения исследования. Анализировались среднесуточные, декадные и месячные значения температуры воздуха, осадки в июле и августе каждого года за период 1991–2018 гг. Для статистической обработки данных использовали однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA) и *F*-критерий Фишера (Statistica 6.0), чтобы определить различия между годами с низким, средним и высоким уровнем заложения шишек. Использовался ранговый корреляционный анализ Спирмена для выявления взаимосвязи между заложением шишек и погодными условиями.

Результаты и обсуждение

Среднее число заложившихся шишек варьировало от 2,26 до 3,53 при среднем значении

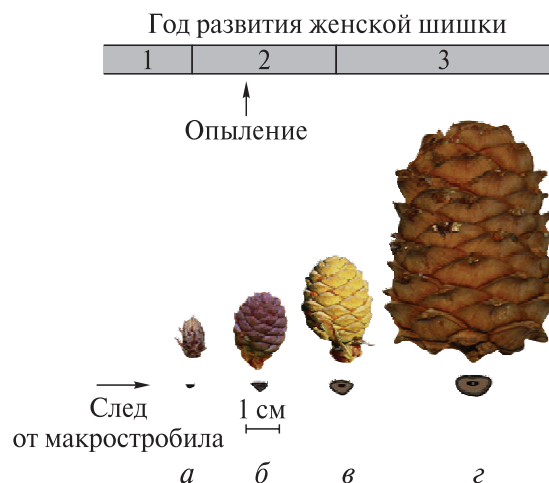


Рис. 1. Развивающаяся женская шишка (макростробил) и остающиеся следы на коре побега от абортированной женской почки (а), опыленного макростробила (б), однолетнего опыленного макростробила, абортированного в зимний период (в), созревшей зрелой шишки (г) на побегах сосны кедровой сибирской

Fig. 1. Developing female cone (macrostrombil) and remaining traces on shoot bark from aborted female bud (a), pollinated macrostrombil (b), annual pollinated macrostrombil aborted in winter (v), mature cone (z) on Siberian pine shoots

по годам 3,16 (стандартное отклонение $\pm 0,32$) (рис. 2). Многолетние тенденции признака были примерно на одном уровне. Поскольку обильное заложение шишек происходит через разные промежутки времени — от 1 до 4 лет, признак не демонстрирует правильную частоту событий, связанную с нерегулярностью высоких урожаев.

Среднемесячная температура и сумма осадков в июле и августе слабо влияли на число заложившихся шишек сосны (таблица). Кроме того, отмечено слабое влияние погодных условий, рассчитанных для более коротких промежутков

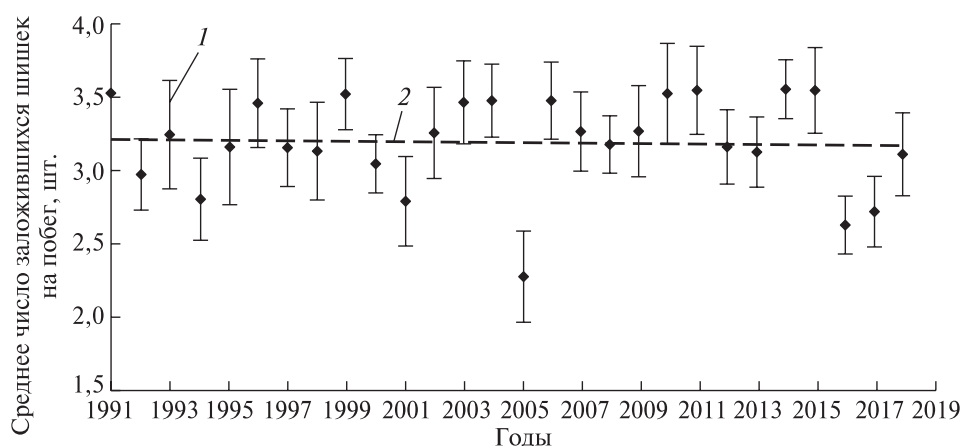


Рис. 2. Погодная динамика заложения шишек сосны кедровой сибирской на годичном побеге: 1 — стандартное отклонение; 2 — многолетние тенденции заложения шишек

Fig. 2. Weather dynamics of cone initiation on annual shoots of Siberian stone pine: 1 — standard deviation; 2 — multi-year trends of cone set

Влияние погодных параметров в разные временные периоды на заложение шишек
Influence of weather parameters in different time periods on the cones initiation

Параметр	Июль	Август	1–10 июля	11–20 июля	21–31 июля	1–10 августа	11–20 августа	21–30 августа
Температура воздуха, °С	-0,022	-0,321	0,238	0,343	-0,136	-0,689	-0,080	-0,185
Осадки, мм	-0,089	-0,235	-0,070	-0,174	-0,123	-0,137	-0,152	-0,456

Примечание. Статистически значимая корреляция при $p < 0,05$, выделена полужирным шрифтом.

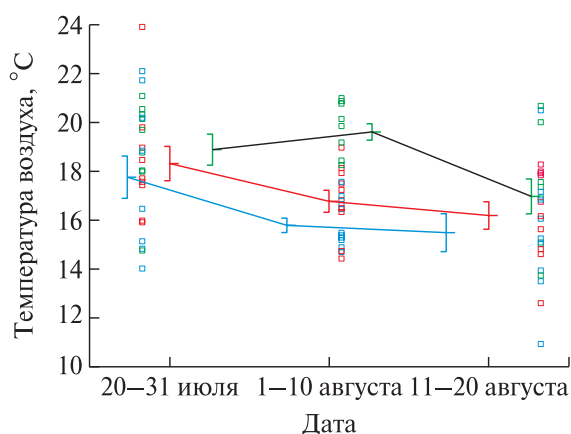


Рис. 3. Изменение среднедекадной температуры воздуха в годы с большим (синий), средним (красный) и низким (зеленый) уровнем заложения шишек сосны кедровой сибирской

Fig. 3. Variation of average air temperature in years with high (blue), medium (red) and low (green) level of cone initiation of Siberian stone pine

времени — по декадам. Температура воздуха в первой и второй декадах июля оказывала слабое положительное влияние на заложение шишек, однако с третьей декады этого месяца и в течение всего августа излишнее тепло стало отрицательно влиять на заложение шишек. Единственная значимая отрицательная корреляция установлена для температуры первой декады августа. Это указывает на повышенную чувствительность иницирующихся примордиев шишек к температуре воздуха и именно в этот временной интервал.

На протяжении анализируемого 28-летнего периода выделяются годы, когда шишек закладывалось больше или меньше среднемноголетнего значения. Например, в 1991, 1996, 1999, 2003, 2006, 2010, 2011, 2014, 2015 гг. их число превышало среднемноголетнее значение на одно стандартное отклонение ($\pm 0,32$) и составило $\geq 3,48$ шт./побег. В 1992, 1994, 2001, 2005, 2016, 2017 гг. число заложившихся шишек было на одно стандартное отклонение меньше среднемноголетнего значения и составило $\leq 2,84$ шт./побег. Все остальные годы мы рассматривали как среднеурожайные. Наиболее существенные различия между урожайными и неурожайными годами наблюдались по значению среднесуточной температуры в первой декаде августа ($F = 3,687$, $p = 0,04014$) (рис. 3).

В годы, когда закладывалось мало шишек, наблюдался рост температуры воздуха в конце июля — начале августа. Напротив, обильному заложению шишек способствовала прохладная погода в начале августа. Следует отметить и небольшую амплитуду этих изменений. В годы с обильным заложением шишек снижение температуры всего на два градуса — с $+18$ до $+16$ °С обеспечивало хорошее заложение шишек. Напротив, мало шишек закладывалось в том случае, если температура в первой декаде августа превышала $+19$ °С, как это было, например, в 2005 и 2017 гг., когда температура третьей декады июля и первой декады августа держалась выше $+20$ °С. Последующее снижение температуры до $+16$ °С во второй декаде августа уже не влияло на заложение шишек.

Несмотря на то что в каждом конкретном году ход суточных температур имел свои особенности, есть некоторые общие тенденции. Например, в 2001, 2005 и 2017 гг., когда заложилось мало шишек, в конце июля и начале августа температура воздуха имела тенденцию к увеличению, в 2006, 2011 и 2014 гг. температура, напротив, снижалась (рис. 4). В годы с минимальным заложением шишек среднесуточная температура в критический период составляла около $+20$ °С, в годы с максимальным заложением — $+15...17$ °С.

Анализ корреляционной связи между температурой первой декады августа и количеством заложившихся шишек (рис. 5) показал довольно тесную отрицательную связь между этими признаками ($r = -0,69$). Тем не менее есть отдельные годы, которые не укладываются в общую схему. Например, в 1995 и 1998 гг. при температуре $+20$ °С в критический период заложилось более трех шишек на побег. Как показал детальный анализ погодных условий этих лет, в период инициации женских стробилов происходило кратковременное похолодание, особенно в ночные часы. Например, в 1995 г. с 4 по 8 августа среднесуточная температура снизилась до $+16,8$ °С, хотя среднедекадная температура в это время была высокой ($+19,6$ °С). В 1998 г. похолодание пришлось на более ранние сроки — с 31 июля по 4 августа. В этот период температура снизилась до $+17,5$ °С, при том, что средняя температура за первую декаду августа составила $+20,5$ °С.

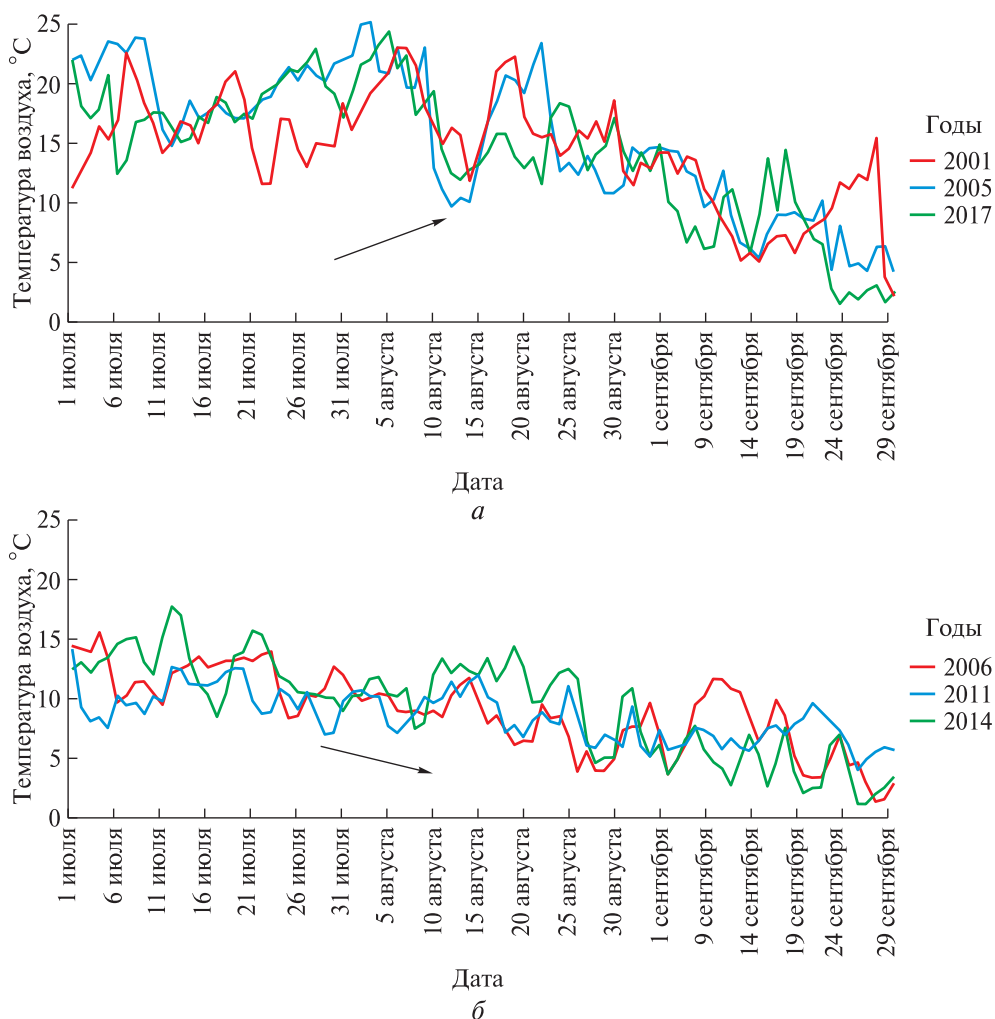


Рис. 4. Динамика среднесуточной температуры воздуха в июле–сентябре в годы (2001, 2005 и 2017) с минимальным (а) и максимальным (2006, 2011, 2014) заложением шишек на побегах сосны кедровой сибирской (стрелками обозначены тенденции изменения температуры в период заложения шишек)
Fig. 4. Dynamics of average daily air temperature in July-September in the years (2001, 2005 and 2017) with minimum (a) and maximum (2006, 2011, 2014) cone initiation on shoots of Siberian stone pine (arrows indicate temperature trends during the cone initiation period)

В обоих случаях в течение 4–5 сут наблюдалось снижение среднесуточной температуры на 3°, при этом ночная температура опускалась до +10...12 °С (рис. 6).

У большинства видов *Pinus* шишки и боковые побеги (ауксибласты) расположены компактными мутовками на верхушках однолетнего побега [17]. Эти органы крупные, растут очень плотно на коротком отрезке побега, что может ограничивать их количество. Если в мутовке много побегов, то они затеняют друг друга, а если много шишек, то они вытесняют друг друга или даже разрывают побег в месте своего прикрепления [11]. Возможно, именно по этой причине многие виды, в том числе сосна кедровая сибирская, имеют ограниченное количество боковых побегов и особенно шишек на побеге [18]. У сосны кедровой сибирской

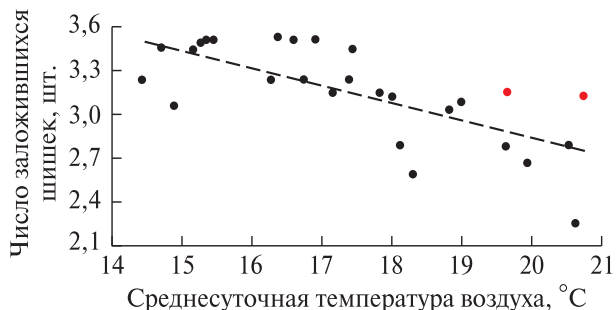


Рис. 5. Связь числа заложившихся шишек сосны кедровой сибирской со среднесуточной температурой первой декады августа (красным маркером выделены 1995 и 1998 гг.)
Fig. 5. Relationship between the number of initiated cones of Siberian stone pine with the average daily temperature of the first ten days of August (red marker indicates 1995 and 1998)

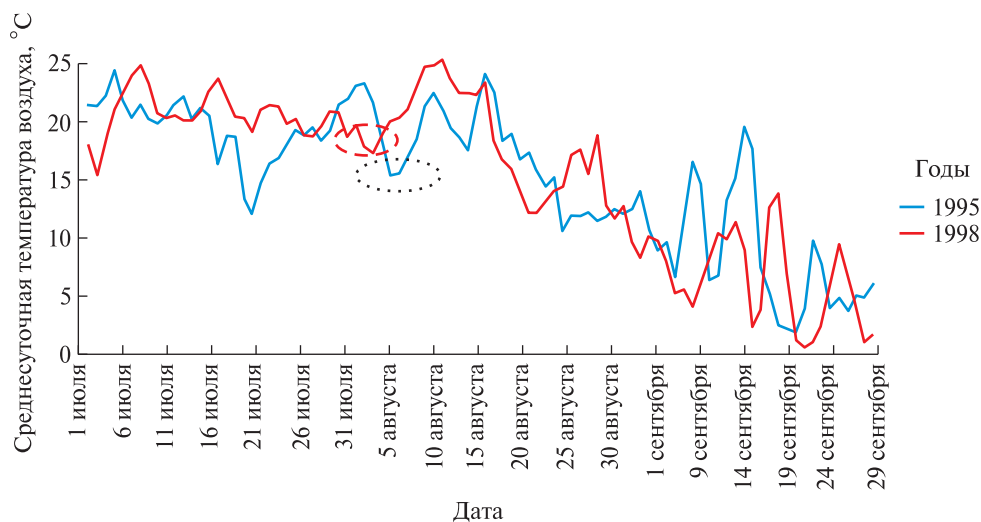


Рис. 6. Динамика среднесуточной температуры воздуха в июле–сентябре в 1995 и 1998 гг. (обведены дни снижения температуры в период заложения шишек сосны)

Fig. 6. Dynamics of average daily air temperature in July-September in 1995 and 1998 (days of temperature decrease during the period of pine cone initiation are circled)

размер зрелых шишек довольно большой, в среднем 5 см в диаметре и 8 см в длину [11], поэтому на одном побеге обычно развивается 2–3 шишки, максимум 5, но это крайне редкое явление [11]. Годовые колебания числа заложившихся шишек от 2,26 до 3,53, как показано на рис. 2, являются обычными для вида и могут быть обусловлены его морфологическими особенностями. Подобные результаты ранее были получены для сосны сибирской, произрастающей в низкогорьях Алтая, где в течение 8 лет на одном побеге закладывалось от 2,1 до 4,3 шишек [13].

Заложение шишек или цветков — очень сложный процесс, который зависит от благоприятного сочетания различных факторов. Известно, что флоральная индукция у растений определяется тремя основными факторами: фотопериодом, автономной регуляцией и климатом [6, 19–21]. Соотношение каждого из элементов этой регуляторной системы различно, поэтому особенности вида и среда его обитания определяют, какой фактор будет доминирующим. Почти все виды *Pinus* произрастают в сезонном климате [17], где фотопериод изменяется регулярно в течение года и одинаков во все годы, поэтому фотопериод только запускает программу морфогенеза, а затем он продолжается относительно автономно [6, 22]. Автономный процесс морфогенеза практически полностью определяет состав органов на побегах, их количество и соотношение, и всегда происходит примерно в одно и то же время, при относительно одинаковом состоянии внешней (фотопериод и температура) и внутренней (содержание фитогормонов) среды [22]. Поэтому основным фактором неравномерного заложения шишек по годам следует считать климат как наиболее дина-

мичный из трех вышеперечисленных. Изучение влияния погодных условий на созревание шишек у сосны съедобной (*P. edulis*) [4] показало, что, скорее всего, не существует строго эндогенного механизма, который обуславливает неравномерное заложение шишек. Этот процесс экспоненциально зависит от одной или нескольких очень нестабильных переменных окружающей среды. Например, в сухом и жарком климате юго-запада Северной Америки, где произрастает сосна съедобная (*P. edulis*), такими факторами являются низкие значения температуры и обильные осадки в период заложения шишек [4]. Наши результаты показали, что обильное заложение шишек стимулировалось понижением температуры в конце июля — начале августа. Такие погодные условия не характерны для обычно жаркого лета в континентальном климате юга Западно-Сибирской равнины.

До сих пор механизм, с помощью которого погодные условия регулируют количество закладываемых шишек, остается малоизученным. У представителей рода *Pinus* шишки являются последним органом на побеге. Они закладываются после серии ауксибластов [17], поэтому велика вероятность, что погодные условия могут каким-то образом регулировать соотношение ауксибластов и шишек именно во время «переключения программы» морфогенеза с заложения ауксибластов на заложение шишек. Например, анатомические исследования псевдотсуги Мензиса [23] показали, что при неблагоприятных условиях возможно превращение недифференцированных примордиев женских шишек в ауксибласты. На основании этого была выдвинута гипотеза о существовании определенного периода особой чувствительности

примордиев женских шишек к внутренним и внешним стимулам, вследствие чего возможен возврат к заложению ауксбластов. Аналогичные предположения высказывались и в отношении сосны сибирской. Например, Т.П. Некрасова считает, что недифференцированные примордии женских шишек — это несостоявшиеся шишки, способные превратиться в ауксбласты. С.Н. Горошкевич [11, 18] высказал еще более интересное предположение, что реверсия возможна только в отношении первой шишки, когда происходит переход от инициации ауксбластов к инициации шишек, и подтвердил это отрицательной автокорреляцией ($r = -0,644$) между числом заложившихся шишек и ауксбластов. Все предложенные ранее гипотезы основаны на том, что неблагоприятные погодные условия при инициации шишек продлевает инициацию ауксбластов вместо шишек, поскольку продолжительность инициации ограничена фотопериодом.

Продолжительность периода, когда погодные условия могут стимулировать заложение шишек, во-первых, видоспецифична, во-вторых, будущие шишки не сразу становятся морфологически различимыми, поэтому в литературе приводится разная длительность периода заложения шишек. Тем не менее очевидно, что этот период короткий — от трех до четырех недель, как показано на примере ели черной (*Picea mariana* (Mill.)) [24] или тсуги западной (*Tsuga heterophylla* (Raf.) Sarg.) [23]. У некоторых видов, таких как псевдотсуга Мензиса (*Pseudotsuga menziesii*) или туи складчатой (*Thuja plicata* (Donn)) [23], этот период длится две недели. У сосны съедобной (*Pinus edulis* (Engelm.)) этот период длится всего одну неделю [4], и эти данные близки к нашему результату (см. рис. 4 и рис. 6).

Согласно гипотезе Джексона и Свита, погодные условия, стимулирующие образование шишек, всегда должны быть «противоположными» модальной среде, в которой находится вид [4]. Например, у вида *Dipterocarpus costatus*, произрастающего преимущественно во влажном тропическом климате Юго-Восточной Азии, обильное плодоношение происходит при вторжении сухих и холодных воздушных масс и временном похолодании [3]. Снижение ночных значений температуры воздуха в течение 2 сут с +23 до +21 °С, причем в определенный период — за 2 мес. до цветения, вызывает формирование многочисленных цветов. Другой пример — *Pinus edulis* — вид, произрастающий в теплом и засушливом климате штата Нью-Мексико (США) [4, 5]. Большой урожай приходится на те годы, когда в конце августа — начале сентября во время заложения шишек отмечается понижение температуры примерно на неделю. Аналогичные результаты по-

лучены нами для сосны кедровой сибирской: кратковременное похолодание в определенный период приводит к их обильному заложению.

Феномен цветочной индукции в ответ на низкую температуру известен с давних пор как результат раннего сельскохозяйственного опыта [25] и подробно исследован на примере травянистых растений [21, 26]. Лесные древесные виды в этом отношении исследованы значительно меньше, поскольку их сложная структура кроны и долгая жизнь значительно усложняют многофакторную регуляцию цветочной индукции [27, 28]. Для получения более надежных результатов эксперименты проводились на контейнерных или привитых деревьях [29], основанные на давней гипотезе, выдвинутой Даффом и Ноланом, о гормональной конкуренции между ростом и репродукцией, которые нуждаются в противоположных условиях. Так, Гринвуд [30] индуцировал примордии макростробилов у трехлетних саженцев сосны ладанной (*P. taeda*) путем экспериментального подавления вегетативного роста воздействием низких температур. В обзоре, анализирующем факторы генеративного морфогенеза у представителей рода *Pinus* [23, 31], сделан вывод, что высокие значения температуры воздуха в течение вегетационного периода благоприятно влияют на рост и косвенным образом усиливают инициацию шишек сосны, поскольку хороший рост обеспечивает ресурсную основу для плодоношения. Однако для «переключения» программы морфогенеза с вегетативного на генеративный требуется стимуляция холодом. Результаты нашего исследования полностью согласуются с этим мнением. На примере сосны кедровой сибирской показано, что прохладная погода во время инициации макростробилов способствует их обилию.

Выводы

Заложение женских шишек у сосны кедровой сибирской обусловлено кратковременными температурными аномалиями в определенный период, когда у этого вида потенциально возможна флоральная индукция. В многолетней динамике этот период приходится на первую декаду августа. Низкая температура увеличивает, а высокая температура уменьшает число закладываемых шишек. В годы с высоким уровнем заложения шишек снижение температуры всего на 2° обеспечивало хорошую инициацию шишек. Напротив, ограниченное заложение шишек происходит, когда значения температуры воздуха в первой декаде августа примерно на одно стандартное отклонение выше, чем средняя многолетняя температура для этого периода. Последующее снижение температуры в более поздние сроки уже не влияло

на инициацию шишек. Для обильного заложения шишек у сосны кедровой сибирской среднесуточная температура в период инициации шишек не должна превышать +17,5 °С. Результаты исследования расширяют представления и механизмах климатической регуляции генеративного морфогенеза и важны не только для понимания фундаментальных основ процесса плодоношения, но и для прогнозирования урожаев и управления ими.


Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ, грант № 23-26-00080. Авторы выражают глубокую благодарность О.В. Хуторному за многолетнюю помощь в сборе полевого материала и С.Н. Горошкевичу за ценные критические замечания при подготовке статьи к публикации.

Список литературы

- [1] Pearse I.S., Koenig W.D., Kelly D. Mechanisms of mast seeding: resources, weather, cues, and selection // *New Phytologist*, 2016, v. 212, pp. 546–562. DOI:10.1111/nph.14114
- [2] Bogdziewicz M., Żywiec M., Espelta J.M., Fernández-Martínez M., Calama R., Ledwoń M., McIntire E., Crone E.E. Environmental veto synchronizes mast seeding in four contrasting tree species // *American Naturalist*, 2019, v. 194, no. 2, pp. 246–259. DOI:10.1086/704111
- [3] Ashton P.S., Givnish T.J., Appanah S. Staggered flowering in the *Dipterocarpaceae*: new insights into floral induction and the evolution of mast fruiting in the aseasonal tropics // *American Naturalist*, 1988, v. 132, no. 1, pp. 44–66. DOI:10.1086/284837
- [4] Forcella F. Ovulate cone production in pinyon: negative exponential relationship with late summer temperature // *Ecology*, 1981, v. 62, pp. 488–491. DOI:10.2307/1936722
- [5] Redmond M.D., Forcella F., Barger N.N. Declines in pinyon pine cone production associated with regional warming // *Ecosphere*, 2012, v. 3, no. 12, pp. 1–14. DOI:10.1890/ES12-00306.1
- [6] Bernier G. The control of floral evocation and morphogenesis // *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 1988, v. 39, pp. 175–219. DOI:10.1146/annurev.pp.39.060188.001135
- [7] Kelly D., Geldenhuis A., James A., Holland E.P., Plank M.J. et al. Of mast and mean: differential-temperature cue makes mast seeding insensitive to climate change // *Ecology Letters*, 2013, v. 16, pp. 90–98. DOI:10.1111/ele.12020
- [8] Shuvaev D.N., Semerikov V.L., Kuznetsova G.V. Late Quaternary history of Siberian stone pine as revealed by genetic and paleoecological data // *Tree Genetics & Genomes*, 2023, v. 19, iss. 2, at. 16. <https://doi.org/10.1007/s11295-023-01592-z>
- [9] Vander Wall, S.B. Seed Dispersal in Pines (*Pinus*) // *Bot. Rev.*, 2023 (In press). <https://doi.org/10.1007/s12229-023-09288-8>.
- [10] Титов Е.В. Орехопродуктивные кедровые плантации и лесосады. Воронеж: Изд-во ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова, 2021. 267 с.
- [11] Горошкевич С.Н. Пространственно-временная и структурно-функциональная организация кроны кедрового: дис. ... д-ра биол. наук. Томск, 2011. 611 с.
- [12] Goroshkevich S., Velisevich S., Popov A., Khutornoy O., Vasilyeva G. 30-year cone production dynamics in Siberian stone pine (*Pinus sibirica*) in the southern boreal zone: a causal interpretation // *Plant Ecology and Evolution*, 2021, v. 154, no. 3, pp. 321–331. DOI:10.5091/plecevo.eu/issue/3728/
- [13] Воробьев В.Н., Воробьева Н.А., Горошкевич С.Н. Рост и пол кедрового сибирского. Новосибирск: Наука, 1989. 167 с.
- [14] Велисевич С.Н. Широкая изменчивость качества урожая кедрового сибирского // Тринадцатое сибирское совещание и школа молодых ученых по климато-экологическому мониторингу: тезисы докл. рос. конф., Томск, 15–19 октября 2019 г. Томск: Аграф-Пресс, 2019. С. 158–159.
- [15] Wion A., Pearse I., Rodman K., Veblen T., Redmond M. Mast seeding is shaped by tree-level attributes and stand structure, more than climate, in a Rocky Mountain conifer species // *Forest Ecology and Management*, 2023, v. 531, at. 120794. DOI:10.1016/j.foreco.2023.120794.
- [16] Crone E.E., McIntire E.J.B., Brodie J. What defines mast seeding? Spatio-temporal patterns of cone production by whitebark pine // *J. of Ecology*, 2011, v. 99, pp. 438–444. DOI:10.1111/j.1365-2745.2010.01790.x
- [17] Farjon A. The Kew Review: Conifers of the World // *Kew Bull.*, 2018, v. 73, is. 1, at. 8. <https://doi.org/10.1007/s12225-018-9738-5>.
- [18] Горошкевич С.Н. Структура и развитие элементарного побега кедрового сибирского // *Вестник Томского государственного университета. Биология*, 2014. № 4(28). С. 37–55.
- [19] Proietti S., Scariot V., De Pascale S., Paradiso R. Flowering Mechanisms and Environmental Stimuli for Flower Transition: Bases for Production Scheduling in Greenhouse Floriculture // *Plants*, 2022, v. 11, iss. 3, at. 432. <https://doi.org/10.3390/plants11030432>
- [20] Dai X., Zhang Y., Xu X., Ran M., Zhang J. Transcriptome and functional analysis revealed the intervention of brassinosteroid in regulation of cold induced early flowering in tobacco // *Frontiers in Plant Science*, 2023, v. 14, at. 1136884. DOI:10.3389/fpls.2023.1136884.
- [21] Peer L.A., Bhat M.Y., Ahmad N., Mir B.A. Floral induction pathways: Decision making and determination in plants to flower – a comprehensive review // *J. of Applied Biology and Biotechnology*, 2021, v. 9, pp. 7–17. DOI:10.7324/JABB.2021.9201
- [22] Чайлахян М.Х. Регуляция цветения высших растений. М.: Наука, 1988. 500 с.
- [23] Owens J.N., Blake N.D. Forest tree seed production: a review of literature and recommendations for future research. Information Report P-I-X 53. Ontario: National Capital Region, 1985, 161 p.
- [24] Colombo S., Templeton, C. Bud and crown architecture of white spruce and black spruce // *Trees*, 2006, v. 20, pp. 633–641 DOI:10.1007/s00468-006-0078-y
- [25] Kozłowski T.T., Pallardy S.G. Growth Control in Woody Plants. San Diego: Academic Press Inc., 1997, 641 p.
- [26] Cho L.H., Yoon J., An G. The control of flowering time by environmental factors // *The Plant J.*, 2017, v. 90, iss. 4, pp. 708–719. DOI: 10.1111/tpj.13461
- [27] Ross S.D., Pharis R.P. Control of sex expression in conifers // *Plant Growth Regulation*, 1987, v. 6, pp. 37–60.
- [28] Kong L., von Aderkas P., Zaharia, L.I. Effects of stem-injected gibberellins and 6-benzylaminopurine on phytohormone profiles and cone yield in two lodgepole pine genotypes // *Trees*, 2018, v. 32, pp. 765–775. <https://doi.org/10.1007/s00468-018-1670-7>

- [29] Webber J., Ott P., Owens J., Binder W. Elevated temperature during reproductive development affects cone traits and progeny performance in *Picea glauca* x *engelmannii* complex // *Tree Physiology*, 2005, v. 25, no. 10, pp. 1219–1227. DOI:10.1093/treephys/25.10.1219
- [30] Greenwood M.S., Hutchison K.W. Maturation as a Developmental Process. *Clonal Forestry I*. Berlin: Springer, 1993, pp. 14–33. DOI: 10.1007/978-3-642-84175-0_3
- [31] LaMontagne J.M., Redmond M.D., Wion A.P., Greene D.F. An assessment of temporal variability in mast seeding of North American Pinaceae // *Phil. Trans. R. Soc. B*, 2021, v. 376, at. 20200373. <https://doi.org/10.1098/rstb.2020.0373>

Сведения об авторах

Попов Александр Владимирович  — инженер 1 категории лаборатории дендрэкологии, ФГБУН «Институт мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения Российской академии наук» (ИМКЭС СО РАН), tomskceltic@gmail.com

Велисевич Светлана Николаевна — ст. науч. сотр. лаборатории дендрэкологии, ФГБУН «Институт мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения Российской академии наук» (ИМКЭС СО РАН), s_n_velisevich@mail.ru

Поступила в редакцию 15.05.2023.

Одобрено после рецензирования 08.06.2023.

Принята к публикации 18.07.2023.

WEATHER CONDITIONS FAVOURING CONE INITIATION FOR SIBERIAN STONE PINE (*PINUS SIBIRICA* DU TOUR)

A.V. Popov , S.N. Velisevich

Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 10/3, Academicheskoy av., 634055, Tomsk, Russia

tomskceltic@gmail.com

Seed production in 25 trees of Siberian stone pine (age 180–200 years) over a 28-year period was examined to determine how the weather factors and their period influence strobilus initiation. Since floral induction in Siberian stone pine occurs in a short period of time only during three weeks at the end of summer, the dynamics of temperature and precipitation during the thirty-days interval, starting from 20 July, were analysed in the present work. The average monthly temperature in July and August, as well as the amount of precipitation in July and August had a weak influence on the number of the cone initiation. There was also a weak influence of weather parameters calculated for shorter time intervals by ten-day interval. Air temperature in the first and second ten-day intervals of July had a weak positive effect on cone initiation, but from the third ten-day interval of this month and throughout August, excessive heat began to negatively affect cone initiation. The only significant negative correlation was found for the temperature of the first ten-day interval of August. This indicates increased sensitivity of initiating cone primordia to air temperature and exactly in this time interval. The example of Siberian cedar pine shows that cool weather during the initiation of macrostrobils favours their abundance. Optimal conditions for cone initiation in Siberian pine are average daily temperatures not higher than +17.5 °C in the first ten-day interval of August. The results of the study expand the understanding of the mechanisms of climatic regulation of generative morphogenesis and are important not only for understanding the fundamental basis of the fruiting process, but also for yield forecasting and management.

Keywords: Siberian stone pine, *Pinus sibirica* (Pinaceae), cone initiation, temperature, precipitation, inter-annual variability

Suggested citation: Popov A.V., Velisevich S.N. *Pogodnye usloviya, sposobstvuyushchie zalozeniyu shishek u sosny kedrovoy sibirskoy (Pinus sibirica Du Tour)* [Weather conditions favouring cone initiation for Siberian stone pine (*Pinus sibirica* Du Tour)]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2023, vol. 27, no. 5, pp. 149–159. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-5-149-159

References

- [1] Pearse I.S., Koenig W.D., Kelly D. Mechanisms of mast seeding: resources, weather, cues, and selection. *New Phytologist*, 2016, v. 212, pp. 546–562. DOI:10.1111/nph.14114
- [2] Bogdziewicz M., Żywiec M., Espelta J.M., Fernández-Martínez M., Calama R., Ledwoń M., McIntire E., Crone E.E. Environmental veto synchronizes mast seeding in four contrasting tree species. *American Naturalist*, 2019, v. 194, no. 2, pp. 246–259. DOI:10.1086/704111

- [3] Ashton P.S., Givnish T.J., Appanah S. Staggered flowering in the *Dipterocarpaceae*: new insights into floral induction and the evolution of mast fruiting in the aseasonal tropics. *American Naturalist*, 1988, v. 132, no. 1, pp. 44–66. DOI:10.1086/284837
- [4] Forcella F. Ovulate cone production in pinyon: negative exponential relationship with late summer temperature. *Ecology*, 1981, v. 62, pp. 488–491. DOI:10.2307/1936722
- [5] Redmond M.D., Forcella F., Barger N.N. Declines in pinyon pine cone production associated with regional warming. *Ecosphere*, 2012, v. 3, no. 12, pp. 1–14. DOI:10.1890/ES12-00306.1
- [6] Bernier G. The control of floral evocation and morphogenesis. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 1988, v. 39, pp. 175–219. DOI:10.1146/annurev.pp.39.060188.001135
- [7] Kelly D., Geldenhuis A., James A., Holland E.P., Plank M.J. et al. Of mast and mean: differential-temperature cue makes mast seeding insensitive to climate change. *Ecology Letters*, 2013, v. 16, pp. 90–98. DOI:10.1111/ele.12020
- [8] Shuvaev D.N., Semerikov V.L., Kuznetsova G.V. Late Quaternary history of Siberian stone pine as revealed by genetic and paleoecological data. *Tree Genetics & Genomes*, 2023, v. 19, iss. 2, at. 16. <https://doi.org/10.1007/s11295-023-01592-z>
- [9] Vander Wall, S.B. Seed Dispersal in Pines (*Pinus*). *Bot. Rev.*, 2023 (In press). <https://doi.org/10.1007/s12229-023-09288-8>.
- [10] Titov E.V. *Orexoproduktivnye kedrovye plantacii i lesosady* [Nut producing stone pine plantations and forest plantations]. Voronezh: Publishing house of VSFUFT named after G.F. Morozov, 2021, 267 p.
- [11] Goroshkevich S.N. *Prostranstvenno-vremennaya i strukturno-funkcional'naya organizaciya krony kedra sibirskogo* [Spatial-temporal and structural-functional organization of the crown of Siberian stone pine]. Dr. Sci. (Biol.) thesis. Tomsk, 2011, 611 p.
- [12] Goroshkevich S., Velisevich S., Popov A., Khutornoy O., Vasilyeva G. 30-year cone production dynamics in Siberian stone pine (*Pinus sibirica*) in the southern boreal zone: a causal interpretation. *Plant Ecology and Evolution*, 2021, v. 154, no. 3, pp. 321–331. DOI:10.5091/plecevo.eu/issue/3728/
- [13] Vorob'ev V.N., Vorob'eva N.A., Goroshkevich S.N. *Rost i pol kedra sibirskogo* [Growth and sexual reproduction of the Siberian stone pine]. Novosibirsk: Nauka, 1989, 167 p.
- [14] Velisevich S.N. *Shirotnaya izmenchivost' kachestva urozhaya kedra sibirskogo* [Latitudinal variability of Siberian stone pine crop quality]. Trinadtsatoe sibirskoe soveshchanie i shkola molodykh uchenykh po klimato-ekologicheskomu monitoringu: tezisy dokladov rossiyskoy konferentsii [Thirteenth Siberian Conference and School of Young Scientists on Climate and Ecological Monitoring. Theses of reports of the Russian conference], Tomsk 15–19 October 2019. Tomsk: Agraf-Press Publishing House, 2019, pp. 158–159.
- [15] Wion A., Pearse I., Rodman K., Veblen T., Redmond M. Mast seeding is shaped by tree-level attributes and stand structure, more than climate, in a Rocky Mountain conifer species. *Forest Ecology and Management*, 2023, v. 531, at. 120794. DOI:10.1016/j.foreco.2023.120794.
- [16] Crone E.E., McIntire E.J.B., Brodie J. What defines mast seeding? Spatio-temporal patterns of cone production by whitebark pine. *J. of Ecology*, 2011, v. 99, pp. 438–444. DOI:10.1111/j.1365-2745.2010.01790.x
- [17] Farjon A. The Kew Review: Conifers of the World. *Kew Bull.*, 2018, v. 73, is. 1, at. 8. <https://doi.org/10.1007/s12225-018-9738-5>.
- [18] Goroshkevich S.N. *Struktura i razvitie elementarnogo pobega kedra sibirskogo* [The structure and development of Siberian stone pine (*Pinus sibirica* Du Tour) elementary shoot]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya*, 2014; no. 4(28), pp. 37–55.
- [19] Proietti S., Scariot V., De Pascale S., Paradiso R. Flowering Mechanisms and Environmental Stimuli for Flower Transition: Bases for Production Scheduling in Greenhouse Floriculture. *Plants*, 2022, v. 11, iss. 3, at. 432. <https://doi.org/10.3390/plants11030432>
- [20] Dai X., Zhang Y., Xu X., Ran M., Zhang J. Transcriptome and functional analysis revealed the intervention of brassinosteroid in regulation of cold induced early flowering in tobacco. *Frontiers in Plant Science*, 2023, v. 14, at. 1136884. DOI:10.3389/fpls.2023.1136884.
- [21] Peer L.A., Bhat M.Y., Ahmad N., Mir B.A. Floral induction pathways: Decision making and determination in plants to flower – a comprehensive review. *J. of Applied Biology and Biotechnology*, 2021, v. 9, pp. 7–17. DOI:10.7324/JABB.2021.9201
- [22] Chaylakhyan M.X. *Regulyatsiya tsveteniya vysshikh rasteniy* [Regulation of higher plants flowering]. Moscow: Nauka, 1988, 500 p.
- [23] Owens J.N., Blake N.D. Forest tree seed production: a review of literature and recommendations for future research. Information Report P-I-X 53. Ontario: National Capital Region, 1985, 161 p.
- [24] Colombo S., Templeton, C. Bud and crown architecture of white spruce and black spruce. *Trees*, 2006, v. 20, pp. 633–641. DOI:10.1007/s00468-006-0078-y
- [25] Kozłowski T.T., Pallardy S.G. *Growth Control in Woody Plants*. San Diego: Academic Press Inc., 1997, 641 p.
- [26] Cho L.H., Yoon J., An G. The control of flowering time by environmental factors. *The Plant J.*, 2017, v. 90, iss. 4, pp. 708–719. DOI: 10.1111/tpj.13461
- [27] Ross S.D., Pharis R.P. Control of sex expression in conifers. *Plant Growth Regulation*, 1987, v. 6, pp. 37–60.
- [28] Kong L., von Aderkas P., Zaharia, L.I. Effects of stem-injected gibberellins and 6-benzylaminopurine on phytohormone profiles and cone yield in two lodgepole pine genotypes. *Trees*, 2018, v. 32, pp. 765–775. <https://doi.org/10.1007/s00468-018-1670-7>
- [29] Webber J., Ott P., Owens J., Binder W. Elevated temperature during reproductive development affects cone traits and progeny performance in *Picea glauca* x *engelmannii* complex. *Tree Physiology*, 2005, v. 25, no. 10, pp. 1219–1227. DOI:10.1093/treephys/25.10.1219
- [30] Greenwood M.S., Hutchison K.W. *Maturation as a Developmental Process*. Clonal Forestry I. Berlin: Springer, 1993, pp. 14–33. DOI: 10.1007/978-3-642-84175-0_3
- [31] LaMontagne J.M., Redmond M.D., Wion A.P., Greene D.F. An assessment of temporal variability in mast seeding of North American Pinaceae. *Phil. Trans. R. Soc. B*, 2021, v. 376, at. 20200373. <https://doi.org/10.1098/rstb.2020.0373>

The work was financially supported by RNF, grant No. 23-26-00080. The authors express their deep gratitude to O.V. Khutorny for many years of assistance in collecting field data and to S.N. Goroshkevich for valuable critical comments in preparing the article for publication.

Authors' information

Popov Aleksandr Vladimirovich [✉] — Engineer of the 1st category Associate of the laboratory of dendroecology, Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems Siberian branch of the Russian Academy of Sciences, tomskceltic@gmail.com

Velisevich Svetlana Nikolaevna — Senior Research Associate of the laboratory of dendroecology, Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems Siberian branch of the Russian Academy of Sciences, s_n_velisevich@mail.ru

Received 15.05.2023.

Approved after review 08.06.2023.

Accepted for publication 18.07.2023.

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

ДРЕВЕСНАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ ДАГЕСТАНА

Г.А. Садыкова

Горный ботанический сад ДФИЦ РАН (ГорБС ДФИЦ РАН), Россия, 367000, Республика Дагестан, г. Махачкала, ул. М. Гаджиева, д. 45

sadykova_gula@mail.ru

Представлены результаты изучения древесной растительности аридных территорий Дагестана, высотные пределы их распространения, а также геоботаническое описание и классификация сообществ. Определен состав хвойных (*Juniperus oblonga* M. Bieb., *J. polycarpus* C. Koch, *J. sabina* L.) и лиственных редколесий, образующих как чистые (*Paliurus spina-christi* Mill., *Spiraea hypericifolia* L.), так и смешанные (*Lonicera tatarica* L., *Cotinus coggygria* Scop., некоторые виды *Rhamnus* L. и *Cotoneaster* L., *Rosa* L., *Celtis* L. и др.) сообщества. Установлено, что виды можжевельников (*J. foetidissima* Willd., *J. hemisphaerica* J. et C. Presl, *J. oxycedrus* L.), указанные для Дагестана, на территории республики нами не обнаружены. Крупные природные массивы на территории Дагестана выявлены для *Armeniaca vulgaris* L. и видов *Berberis* L. Для изученных видов древесных растений аридных территорий отмечены места произрастания, оценены площади, высотные пределы и дана геоботаническая характеристика сообществ с их участием.

Ключевые слова: Республика Дагестан, древесная растительность, аридные редколесья, можжевельники, *Paliurus spina-christi* Mill., *Spiraea hypericifolia* L., геоботаническая характеристика, синтаксономия

Ссылка для цитирования: Садыкова Г.А. Древесная растительность аридных территорий Дагестана // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 5. С. 160–169. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-5-160-169

Республика Дагестан расположена на юге Российской Федерации и отличается засушливостью климатических условий. Количество осадков варьирует от 200 мм до 1000 мм в год, средняя температура января может достигать -11°C , средняя температура июля — $+28^{\circ}\text{C}$ [1]. Большие колебания температуры и влажности, разнообразие рельефа и почв обусловили формирование видового богатства и разнообразие растительности.

Во флоре Республики Дагестан насчитывается около 3500 видов. Растительный покров представлен луговыми и болотными видами (36,5%), степной (18,5%), пустынной и полупустынной растительностью (27,5%), лесами и кустарниками (14%), нагорными ксерофитами и песчаной растительностью (около 3,5%). Большие площади занимает редкостойная древесно-кустарниковая растительность [2]. По степени облесенности территории Дагестан занимает одно из последних мест среди республик Северного Кавказа.

В разнотравно-полынно-злаковых степях предгорий встречаются значительные массивы с участием гемиксерофильных кустарников: держи-дерева (*Paliurus spina-crispi* Mill.), жостера (*Rhamnus pallasii* F. et M.), терна (*Prunus spinosa* L.), спиреи (*Spiraea hypericifolia* L.), груши иволжистой (*Pyrus salicifolia* Pall.), в более мезофитных условиях произрастают дуб, боярышник, кизил и др.

В горных разнотравно-злаковых степях, представленных преимущественно петрофильной флорой, встречаются виды *S. hypericifolia*, *Paliurus spina-christi*, *Cotoneaster racemiflora* (Dsf.) C. Koch, *C. melanocarpa* Lodd. и др., виды барбариса (*Berberis iberica* Stev. et Fisch., *B. densiflora* Boiss. et Buhse), пузырник (*Colutea orientalis* Mill.) и др.

Виды можжевельника (*Juniperus polycarpus*, *J. sabina*, *J. oblonga*) и спирей (*S. hypericifolia*, *S. crenata* L.) формируют группировками нагорных ксерофитов. Первые замечены на каменистых склонах ущелий, распространение *J. oblonga* связывают с остатком подлеска сведенных сосновых и сосново-березовых лесов. Заросли держидерева замечены на подгорных равнинах, склонах предгорий и занимают обширные территории (до 25 тыс. га) [2].

Аридные области, на которые приходится около 60% территории Дагестана, являются наиболее уязвимыми в экологическом плане. Количество поступающей влаги здесь относится к наиболее активным компонентом экосистемы, и малейшее изменение климатических условий и водного режима вызывают многообразные изменения ландшафтно-экологической обстановки. В таких условиях древесная растительность выполняет важную водоудерживающую функцию, препятствуя развитию эрозионных процессов [3].

Кроме того, аридные редколесья имеют огромное природоохранное значение, поскольку концентрируют редкий гено- и ценофонд субсреди-

земноморской флоры. Видовой состав аридных редколесий важен для понимания закономерностей общей эволюции ландшафтов в естественных условиях и флорогенеза некоторых районов Кавказа [4].

На начало 2020-х годов нет точной информации о занимаемых площадях, высотных пределах распространения и о типах сообществ, образуемых аридной древесно-кустарниковой растительностью на территории Дагестана, поэтому настоящее исследование признано актуальным.

Материалы и методы

Площадь распространения некоторых растительных сообществ, произрастающих на горных склонах, определяли в ходе пешего маршрутного метода. В других случаях, протяженность зарослей была установлена по показаниям одометра автомобиля от начала пути до крайних точек ареала произрастания с последующим умножением на протяженность зарослей. Для каждого такого участка характеризовали проективное покрытие вида.

В частности, маршрутный метод использовался для оценки площади можжевельника *J. sabina*, в пределах юга республики (Ахтынский и Рутульский районы) (таблица).

Определение размеров популяции других видов, занимаемых меньшие площади, проводили глазомерно. Проективное покрытие и плотность особей оценивали путем перерасчета среднего количества особей на учетных площадях на их количество на общей площади, занимаемой видом. Пробные площади закладывали размером 20×20 (400 м²) с определением полного видового состава сообществ [5].

Камеральную обработку геоботанических описаний проводили методом табличного анализа в программе Excel [6].

Классификацию растительности проводили методом эколого-фитоценологического анализа. К одной ассоциации относили фитоценозы, сходные по флористическому составу и ценологической структуре, т. е. по соотношению доминантов каждого яруса при значительном сходстве состава сопутствующих видов. Субассоциации выделяли по различиям видового состава и структуры сообществ с учетом количественного соотношения видов и ярусов, отражающего экологические особенности местообитаний.

Названия видов сосудистых растений даны по «Конспекту флоры Кавказа» [7], синтаксонов — по «Проекту Всероссийского Кодекса фитоценологической номенклатуры» [8].

Результаты и обсуждение

Хвойная древесная растительность аридных территорий Дагестана представлена можжевельниковыми редколесьями, в частности шестью видами: *Juniperus communis* subsp. *oblonga*, *J. hemisphaerica* J. et C. Presl, *J. Oxycedrus* L., *J. excelsa* subsp. *polycarpus*, *J. foetidissima*, *J. sabina* L. [9, 10].

Прежде всего отметим, что для подвидов *Juniperus communis* subsp. *oblonga* и *J. excelsa* subsp. *polycarpus*, по результатам молекулярно-генетических и анатомо-морфологических исследований, уточнен таксономический статус — виды *Juniperus oblonga* [11] и *J. polycarpus* [12, 13] можно рассматривать как отдельные.

Виды *J. hemisphaerica* и *J. oxycedrus* L. указаны для Верхнесулакского и Манас-Самурского флористических районов [7], вид *J. hemisphaerica* — для северо-восточной части Азербайджана, в ущелье выше с. Гедим, а на территории Дагестана — в Рутульском районе (с. Лучек).

Вид *J. oxycedrus* характерен для с. Гуниб и г. Буйнакск. Однако в результате многократных

Показатели протяженности массивов *J. sabina* для маршрутного определения площади

Indicators of the length of *J. sabina* arrays for route determination of the area

Маршрут	Протяженность маршрута, км	Высотная протяженность зарослей, м	Площадь, занимаемая видом, тыс. м ²	Проективное покрытие вида, %
Аракул — Нижний Катрух	3,3	300	990	30
Нижний Катрух	1,4	300	420	25
Нижний Катрух	1,1	300	330	40
Нижний Катрух	1,3	150	195	5
Мишлеш	1,1	100	110	30
Цахур	3,3	80	264	25
Мекки	3,5	200	700	30
Гельмец — Кина	3,4	150	510	5
Куфа	3,9	100	390	20
Кала	1,4	150	210	20
Рутул	9,4	100	940	20
Итого:	33,1	—	5059	—

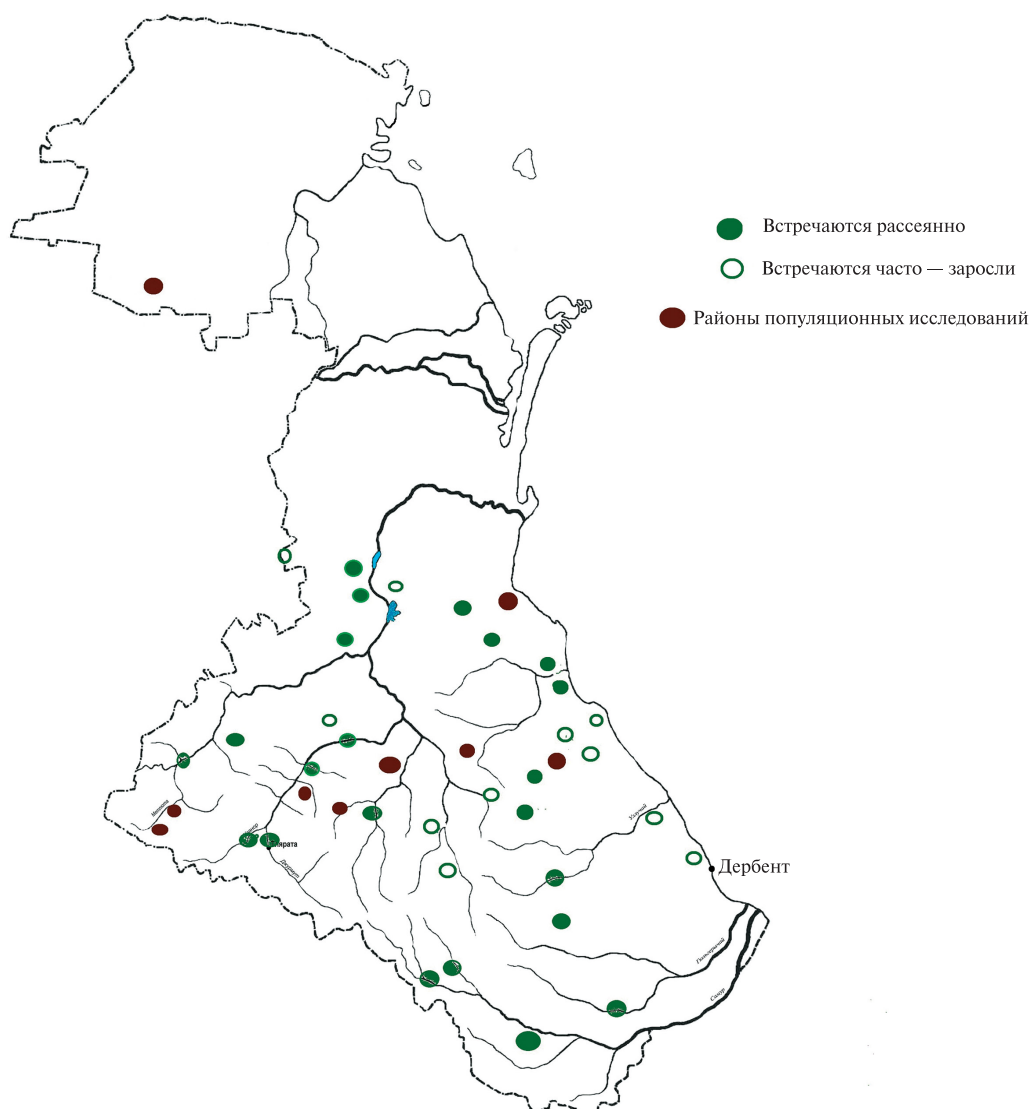


Рис. 1. Ареал можжевельника продолговатого *Juniperus oblonga* M. Bieb. в Дагестане
 Fig. 1. Range of *Juniperus oblonga* M. Bieb. in Dagestan

целенаправленных экспедиций все вышеперечисленные виды на территории Дагестана в исследуемых районах виды не обнаружены.

Безрезультатными оказались также экспедиционные исследования в предполагаемые, по литературным источникам, места произрастания краснокнижного вида *J. foetidissima*. (села Рутул, Лучек, Мишлеш, Нижний Катрух и Верхний Катрух, Аракул).

Наиболее широко на территории Дагестана распространен вид *Juniperus oblonga* (рис. 1). Произрастает в 10 из 13 флористических районов [10].

Можжевеловые редколесья Дагестана широко распространены и соприкасались с арчевниками Азербайджана в прошлом, свидетельством чего являются общие виды: *J. polycarpus*, *J. oblonga*, *Celtis glabrata*, *Pyrus salicifolia*, *Rhamnus pallasii*, *Spiraea*, *Cotinus coggygria* [4, 14].

К началу 2020-х годов можжевеловые редколесья распространены во всех геоморфологических районах республики: от низменностей до верхних границ лесного пояса — 1700...2000 м н. у. м., а также под пологом леса и по опушкам преимущественно сосновых лесов, на песчаных обнажениях и среди скал [15].

В низменной части Дагестана можжевеловые редколесья обнаружены в зоне полупустыни, в частности в пределах Терско-Кумской низменности на Бажигано-Тереклинском песчаном массиве [16]. Здесь площадь, занимаемая популяцией *J. oblonga*, составляет около 975 га [17].

В предгорных районах Дагестана можжевеловые редколесья из *J. oblonga* представлены на крутых склонах передовых хребтов, сложенных песчаниками, известняками и каменисто-щебнистыми почвами с примесью мелкозема, на склонах

южной и северо-восточной экспозиций, на высоте от 350 до 700 м, в районах распространения карбонатных горных пород [18, 19].

Большие площади занимает вид *J. oblonga* во внутригорных и высокогорных районах Дагестана. На юге произрастает вид *J. oblonga*, в частности в верховьях рек Самур, Кара-Самур, в долинах ущелий, на склонах Главного Кавказского хребта, склонах и ущельях вдоль р. Курах. В средней и северной частях республики по долинам и ущельям Андийского, Аварского, Казикумухского и Каракайсу Койсу и их притокам [15, 20].

Можжевельник *J. oblonga* в условиях разреженных древостоев входит в состав подлеска сосновых и березовых лесов (на высоте от 1400 до 2500 м н. у. м.) [2], в высокогорьях он образует стланиковые формы [21].

Описание сообществ и определение возрастной, виталитетной и половой структуры популяций вида *J. oblonga* проводилось в модельной популяции на Гунибском плато. Здесь можжевельниковые редколесья (*J. oblonga*) распространены до верхней границы леса (2100 м) и представлены на южных, юго-восточных, юго-западных и северо-восточных склонах. На южных плитообразных скальных склонах с петрофильной растительностью можжевельник произрастает рассеянно. На более пологих склонах или в низинных участках образует сообщества, выступая эдификатором. На северо-восточных склонах произрастает более плотно, предшествуя субальпийским лугам, сосново-березовым лесам, либо встречается в составе подлеска сосново-березовых лесов [22].

Можжевельниковые сообщества на Гунибском плато представлены четырьмя ассоциациями (*Juniperetum carexoso-botriochloosum*, *Juniperetum salviosum*, *Juniperetum botriochlooso-carexosum*, *Juniperetum carexosum*), четырьмя субассоциациями (*xeroherbosum*, *Carex humilicae*, *typicum*, *alchemilla sericatae*) и пятью вариантами (*Teucrium polium*, *Salvia canescens*, *Alchemilla sericata*, *Thymus collinus*, *Bryophyllum*).

Можжевельник казацкий (*J. sabina* L.) массово произрастает на северо-восточных склонах отрогов Самурского хребта и хребта Кабьяк-Тепе в южных районах Дагестана, на северо-западных склонах встречается единично. Отмечается, начиная с высоты 700 м (за с. Ахты) до 2300 м н. у. м. (с. Аракул). Общая площадь, занимаемая видом, составляет здесь около 5059 тыс. м², т. е. около 0,01 % общей площади Республики Дагестан. Единично встречается во Внутреннегорном и Высокогорном Дагестане, на отрогах Богосского и Снегового хребтов, а также хребтов Кулимеэр, горы Шунудаг.

На карте растительности Дагестана вид *J. sabina* указан только на отрогах Снегового хребта, в долине Андийского Койсу. При этом самая крупная популяция этого вида в южном Дагестане на карте не отмечена.

Другой вид, занесенный в Красную книгу Республики Дагестан [23] и Российской Федерации [24], — *Juniperus polycarpus* на территории Российской Федерации отмечен только в Дагестане. Имеет дизъюнктивный ареал и представлен двумя изолированными популяциями: предгорной и высокогорной [13, 25]. Произрастает на отвесных склонах, преимущественно южных и западных экспозиций, на маломощных скелетных почвах, подстилаемых известняковыми породами.

В предгорьях Дагестана вид *J. polycarpus* образует три ценопопуляции — талгинскую, губденскую и дубкинско-миатлинскую, в высокогорьях — чадаколобо-анцухскую и гадайчи-эчединскую. Общая площадь, занимаемая видом на территории республики составляет 1800 га (рис. 2).

Чадаколобо-анцухская ценопопуляция расположена на южных, юго-западных, западных, юго-восточных и восточных склонах отрогов Богосского хребта, вдоль р. Аварское Койсу, близ с. Чадаколоб и с. Анцух Тляратинского района на высоте от 1342 до 1589 м н. у. м. при крутизне склонов 35...44°.

Гадайчи-эчединская ценопопуляция расположена вдоль р. Андийское Койсу, на отрогах хребта Кад и Богосского хребта, близ с. Гадайчи и на склонах горы Омар-Вахунаубетер Снегового хребта близ с. Эчеда Цумадинского района на высоте 1168–1257 м н. у. м. при крутизне склонов 45...60°. Сообщества можжевельника многоплодного *J. polycarpus* приурочены к горно-степным сланцево-среднещелочистым почвам с незначительными выходами на поверхность крупных сланцевых пластов.

Талгинская ценопопуляция расположена юго-западнее г. Махачкалы, у подножья горы Кукуртбаш в ущелье Истису-Кака (Талгинское ущелье), высота 400–600 м н. у. м. Сообщества можжевельника многоплодного *J. polycarpus* произрастают на склонах южной и северной экспозиций крутизной 5...50°. Почвы коричневые, сформированы на мелко- и среднеобломочных известняках с выходами на поверхность скальных пород (до 30 % площади).

Губденская ценопопуляция расположена в центральной части Предгорного Дагестана (близ с. Губден), на южных отрогах хребта Чонкатау и северных отрогах хребта Шамхал-даг, на высоте от 700 до 1000 м н. у. м. Можжевельниковые редколесья здесь встречаются на склонах крутизной 25...45°. Почвы каштановые слабогумусированные обломочно-щебнистые глинисто-карбо-

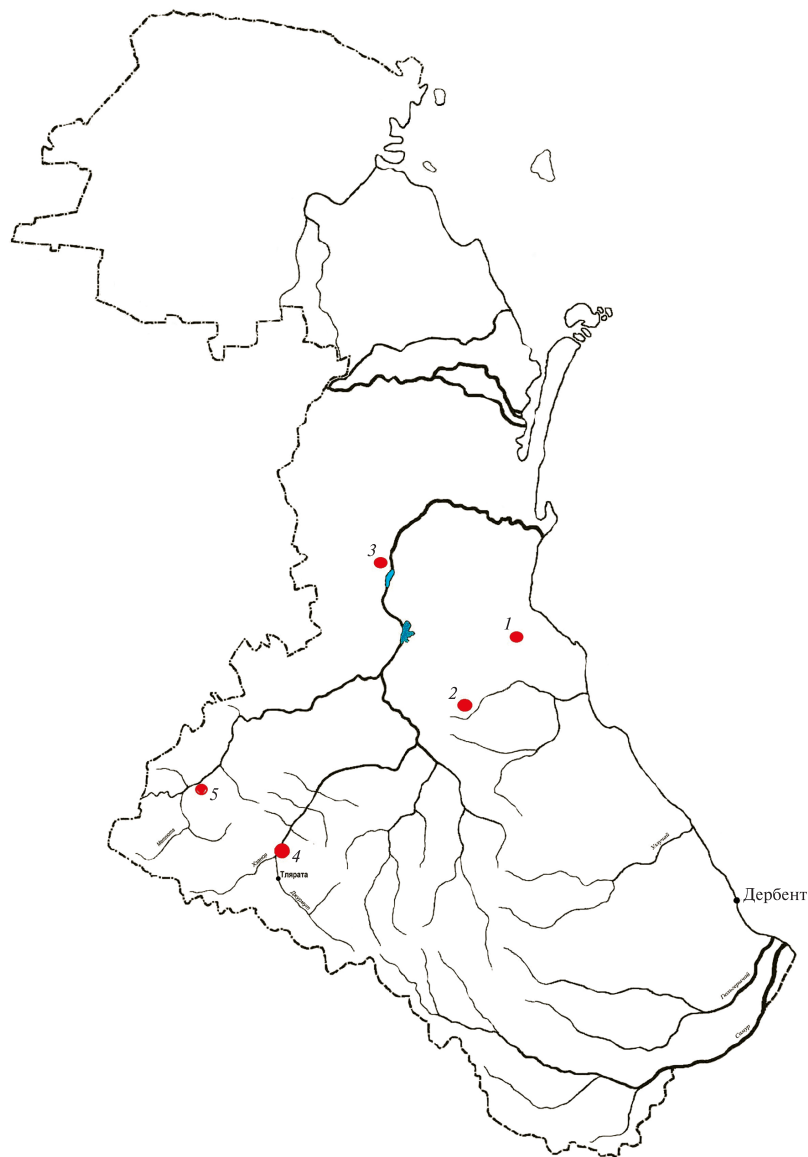


Рис. 2. Районы исследования можжевельника многоплодного *Juniperus polycarpos* C. Koch в Дагестане: 1 — Талгинское ущелье; 2 — губденский участок; 3 — дубкинско-миатлинский; 4 — чадаколобо-анцухский; 5 — гадайчи-эчединский участок

Fig. 2. Research areas of *Juniperus polycarpos* C. Koch in Dagestan: 1 — Talga Gorge; 2 — Gubdensky area; 3 — Dubkinsko-Miatly area; 4 — Chadokolobo-Antsukhsky area; 5 — Gadaichi-Echedinsky area

натные с выходами материнских пород и наличием делювиально-промывных бугров высотой 10...15 см.

Дубкинско-миатлинская ценопопуляция расположена на западном склоне хребта Надырбек, прилегающем к р. Сулак, близ сел Дубки и Миатли, на высоте от 150 м (у Миатлинского водохранилища) до 600 м н. у. м. (у Чиркейского водохранилища), на обломочно-щербнистых склонах крутизной 35...55°.

В высокогорных ценопопуляциях выделены две ассоциации: *Juniperetum polycarpi spiraeosovarioherbosum* и *Juniperetum polycarpi varioherbo-*

graminosum, восемь субассоциаций (*sedosum oppositifolii*, *teucriosum polii*, *caricosum humilis*, *varioherbosum*, *saxatilis*, *paliurosom spino-christii*, *festucosum yaroschenkoi*, *poosom nemoralis*) и варианты (*Selaginella helvetica*, *Thymus caucasicus*, *Cotinus coggygria*, *typicum*) [26].

В предгорных ценопопуляциях выделены и описаны три ассоциации: *Juniperetum polycarpi fruticoso-varioherbosum*, *Juniperetum polycarpi fruticoso-xeroherbosum*, *Juniperetum polycarpi xerofruticulosum*, шесть субассоциаций (*varioherbosograminosum*, *fruticoso-varioherbosum*, *typicum*, *fruticuloso-xerograminosum*, *spiraeosum hyperici-*

foliae, jasminosum fruticans) и 11 вариантов (*Erysimum versicolor*, *Eremurus spectabilis*, *Elytrigia gracillima*, *Alopecurus vaginatus*, *Juniperus oblonga*, *Festuca rupicola*, *Koeleria luerssenii*, *Carex humilis*, *Festuca valesiaca*, *Dictamnus caucasicus*, *Psathyrostachys rupestre*) [27].

Лиственные древесные формации аридных территорий Дагестана представлены в основном сообществами держидерева (*Paliurus spina-christi*) и спиреи (*Spiraea hypericifolia*). Другие ксерофильные древесные виды (*Lonicera tatarica* L., *Cotinus coggygia* Scop., некоторые виды *Rhamnus* L. и *Cotoneaster* L., *Rosa* L., *Celtis* L. и др.) представлены в составе этих формаций и чистые сообщества образуют редко. Крупные природные массивы отмечены для вида *Armeniaca vulgaris* L. и видов *Berberis* L.

Наиболее крупные популяции абрикоса обыкновенного *A. vulgaris* распространены в долинах рек Казикумухского Койсу, Аварского Койсу и Каракойсу (близ с. Буртанимахи), на Хунзахском плато, а также на склонах Нукатлинского хребта (у с. Чарода) [28]. Чистые массивы барбариса отмечены нами в долинах рек Самур и Курах (Рутульский район). Также небольшой массив скумпии кожевенной *Cotinus coggygia* отмечен на склонах горы Шамхал-даг (близ с. Губден).

Таким образом, один из эдификаторов и доминантов древесной растительности аридных территорий Дагестана вид *P. spina-christi* распространен широко, начиная от подгорной равнины Терско-Сулакской низменности вдоль приморской низменности до высокогорий — на отрогах Главного Кавказского хребта в южных районах Дагестана. При этом палиуровые сообщества в низменной и предгорной частях республики изолированы от внутреннегорных передовыми хребтами: с севера Салатавским, с северо-востока — Гимринским и Чонкатау.

Палиуровые сообщества занимают большую территорию по низким предгорьям и на подгорных долинах в Хасавюртовском, Ленинском, Сергокалинском, Дербентском и Касумкентском районах [4]. В Предгорном Дагестане они протянулись с севера (до границы с Чеченской Республикой) на юг (до границы с Азербайджанской Республикой) (рис. 3).

Общая площадь *P. spina-christi* в Предгорном и Внутригорном Дагестане составляет около 120 тыс. га. Высотный пояс распространения сообществ *Paliureta spinae-christi* в Дагестане изменяется от 100 до 1300 м н. у. м.

Флористическое разнообразие палиуровых сообществ *P. spina-christi* достаточно богатое (около 700 видов), в них сконцентрирован редкий гено- и ценофонд субсредиземноморской флоры, древесный ярус представлен слабо.

Для классификации палиуровиков заложено 120 площадок по 400 м².

Предварительная классификация сообщества с участием *P. spina-christi* позволила выделить в Предгорном Дагестане четыре группы ассоциаций, семь ассоциаций и десять субассоциаций: группа ассоциаций *Paliureta graminosa* (Асс. *Paliuretum elytrigosum gracillimae*, *Paliuretum bromosum commutatis*, *Paliuretum trachyniosum*, *Paliuretum graminosum*), группа ассоциаций *Paliureta bryosa* (*Paliuretum bryosum*), группа ассоциаций *Paliureta fruticosa* (Асс. *Paliuretum variofruticosum*), группа ассоциаций *Paliureto-Ulmeta suberosae* (Асс. *Paliureto-Ulmetum graminosum*).

Во Внутреннегорном Дагестане выделено шесть ассоциаций: *Paliuretum botriochloosum*, *Paliuretum spiraeosum*, *Paliuretum hylocomiosojuniperosum*, *Paliuretum fruticosum*, *Paliuretum oligoherbosum*, *Spiraeetum paliuroso-botriochloosum* и 12 субассоциаций. Изучение палиуровых сообществ еще не завершено и требует дальнейшей обработки накопленного материала.

Изучение формации спиреи зверобоелистной (*S. hypericifolia*) нами начато в 2022 г. с описания сообществ в пределах хребтов Внешнегорного Дагестана. На склонах передовых хребтов Кукуртбаш, Эмриксырт, Кафыркумухский и отрогах Гимринского заложено 50 пробных площадей размером 9 м². Общая площадь, занимаемая *S. hypericifolia*, здесь составляет около 25 тыс. га.

Заросли спиреи начинаются резким переходом от тылового шва склонов и образуют сплошной массив. Спирея занимает в основном северные, северо-западные, северо-восточные, западные склоны, на южных встречается единично. На склонах *S. hypericifolia* тонко улавливает элементы рельефа, мельчайшие ложбины и прогибы, обращенные на север.

На северных склонах она образует большие непрерывные массивы. Высота кустов спиреи *S. hypericifolia* достигает 2 м. Выше по склону кусты ниже и заросли становятся более разреженными — вид произрастает либо мелкими куртинками, либо отдельными редкостойными особями. Проплешины, возникающие между куртинами, образуются на более засушливых участках, в экотопах с особенностями микрорельефа. На южных склонах спирея произрастает более разреженно, кусты низкие (0,5...0,6 м).

На отрогах Гимринского хребта спирея произрастает на пологих склонах. Протяженность зарослей вдоль склона здесь достигает 700 м. У основания вид образует крупные куртины с большими проплешинами между ними, а затем сплошной массив с *P. spina-christi* и

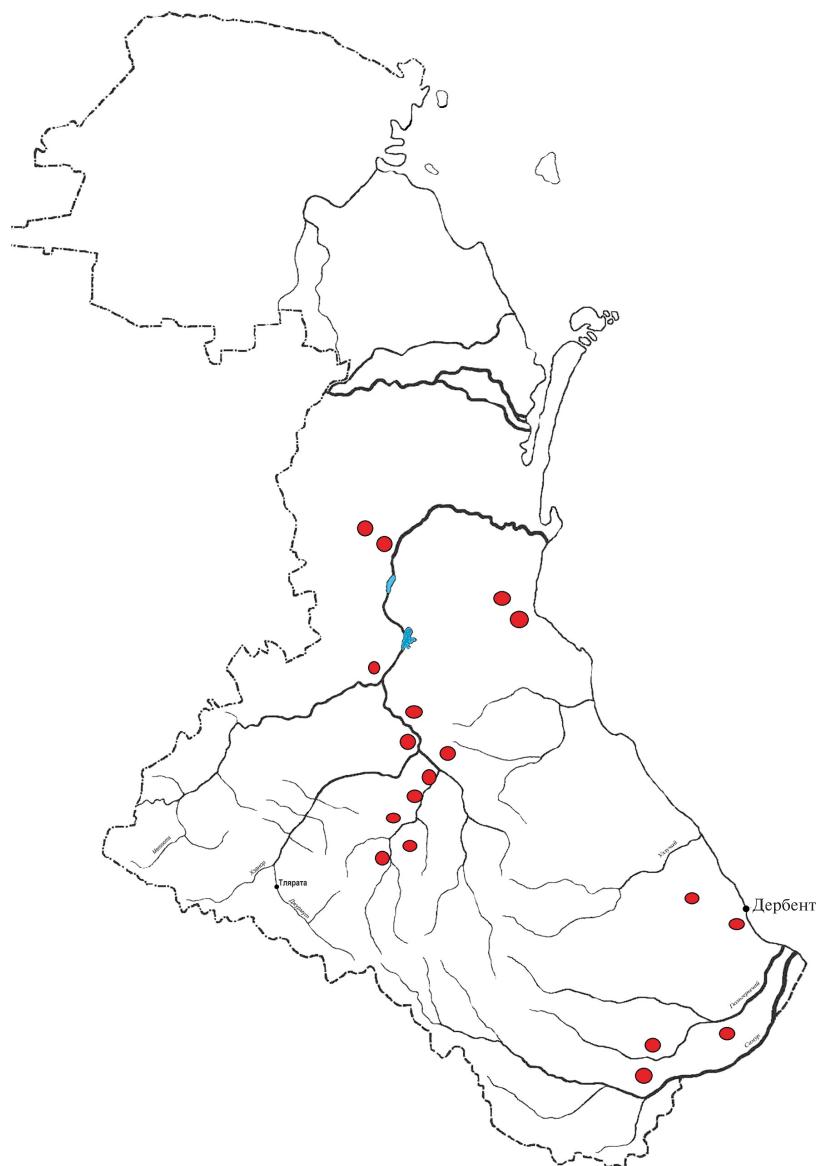


Рис. 3. Основные районы исследований палиурусовых сообществ *Paliurus spina-christii* в Дагестане

Fig. 3. Main research areas for communities of *Paliurus spina-christii* in Dagestan

единичным участком *Rh. pallasii* и *L. iberica*. В микропонижениях, в ложбинах единично отмечаются крупные особи дуба, алычи и розы собачьей. В целом на склонах предгорий в сообществах спиреи единично встречаются *R. pallasii*, *Atraphaxis replicata* Lam., *Berberis vulgaris* L., *Fraxinus excelsior* L., *Hippophae rhamnoides* L., *C. Meyeri* Pojark., *Celtis glabrata* Stev ex Pianch., *C. coggygia*, *Cerasus incana* (Pall.) Sprach и другие ксерофильные виды. Максимальная высота произрастания спиреи в исследованных сообществах в предгорьях 620 м н. у. м. Выше по склону начинается низкоствольный (4...5 м) дубовый лес, который на отрогах Гимринского хребта сменяется смешанным широколиственным.

Выводы

Древесная растительность аридных территорий Республики Дагестан занимает обширные площади и представлена хвойными (можжевеловыми) и лиственными (палиурусовыми, спирейными, абрикосовыми и др.) редколесьями.

Для каждого вида хвойных и лиственных редколесий определены ареал, площадь, высотные пределы и фитоценотические условия распространения. Проведена классификация сообществ.

Наиболее распространенные можжевеловые сообщества из *J. oblonga*, произрастающие от низменности до верхней границы лесного пояса (2000 м н. у. м), в модельной популяции на Гунибском плато представлены четырьмя ассо-

циациями. Краснокнижный вид *J. polycarpus*, произрастающий только в Дагестане на территории Российской Федерации, представляют пять ассоциаций, 14 субассоциаций и 16 вариантов. Единственная крупная популяция *J. sabina* отмечена в южном Дагестане отрогах Самурского хребта и Кабьяк-Тепе.

Лиственные (спирейные и палиурусые) аридные редколесья образуют сплошные массивы вдоль приморской низменности и в предгорной зоне. Во Внутреннегорном Дагестане входят в состав подлеска и предшествуют лесным сообществам.

Сообщества с участием *P. spina-christi* распространены от подгорной равнины Терско-Сулакской низменности вдоль приморской низменности до высокогорий — на отрогах Главного Кавказского хребта в Южном Дагестане. Общая площадь *P. spina-christi* в Предгорной и Внутригорной части Дагестана составляет около 120 тыс. га, сообщества *Paliureta spinae-christi* произрастают до высоты 1300 м. н. у. м. Проведена классификация сообществ с участием *P. spina-christi*.

Сообщества с участием *S. hypericifolia* образуют большие массивы на всей территории республики. Общая площадь сообществ в Предгорном Дагестане составляет около 25 тыс. га.

Исследования по определению ареала, площади, высотных пределов распространения видов древесной растительности аридных территорий Дагестана представляют интерес для мониторинговых исследований при изучении краснокнижных видов, а также определения структуры, динамики и сукцессионного статуса растительных сообществ, моделирования и прогнозирования развития аридных территорий Дагестана при изучении климатических изменений.

Список литературы

- [1] Акаев Б.А., Атаев З.В., Гаджиев Б.С. Физическая география Дагестана. М.: Школа, 1996. 384 с.
- [2] Чиликина Л.Н., Шифферс Е.В. Карта растительности Дагестанской АССР. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1962. 95 с.
- [3] Асадулаев З.М., Маллалиев М.М., Садыкова Г.А. Флора эродированных склонов и откосов автодорог Горного Дагестана. Махачкала: Изд-во ДГУ, 2020. 145 с.
- [4] Львов П.Л. Леса Дагестана (низовые и предгорные). Махачкала: Дагестанское книжное издательство, 1964. 214 с.
- [5] Андреева Е.Н., Баккал И.Ю., Горшков В.В., Лянгузова И.В., Мазная Е.А., Нешатаев В.Ю., Нешатаева В.Ю. и др. Методы изучения лесных сообществ. СПб.: Изд-во НИИХимии, СПбГУ, М54, 2002, 240 с.
- [6] Нешатаев Ю.Н. Методы анализа геоботанических материалов. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1987. 192 с.
- [7] Конспект флоры Кавказа: в 3 т. / отв. ред. А.Л. Тахтаджян: Т. 1 / под ред. Ю.Л. Меницкого, Т.Н. Поповой. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2003. 204 с.
- [8] Нешатаев В.Ю. Проект Всероссийского кодекса фитоценологической номенклатуры // Растительность России, 2001. №1. С. 62–70.
- [9] Дендрофлора Кавказа: в 4 т. / под ред. В. З. Гулисашвили. Тбилиси: Изд-во АН Грузинской ССР, 1959. Т. 1. 408 с.
- [10] Муртазалиев Р.А. Конспект флоры Дагестана: в 4 т. Т. 1. Конспект флоры Дагестана (*Lycopodiaceae* — *Urticaceae*). Махачкала: Издательский дом «Эпоха», 2009. 252 с.
- [11] Князева С.Г., Хантемирова Е.В. Сравнительный анализ генетической и морфолого-анатомической изменчивости можжевельника обыкновенного (*Juniperus communis* L.) // Генетика, 2020. Т. 56, № 1. С. 55–66.
- [12] Асадулаев З.М., Садыкова Г.А., Рамазанова З.Р. Анатомическое строение побега *Juniperus excelsa* Bieb. subsp. *polycarpus* (С. Koch) Takht. в Предгорном Дагестане // Вестник Пермского университета. Сер. Биология, 2020. Вып. 3. С. 157–164.
- [13] Sadykova G.A., Hantemirova E.V., Polezhaeva M.A., Aliev Kh. U. Genetic Variability of Tree Junipers of Section Sabina: Data from Dagestan, Armenia and Crimea // Russian Journal of Genetics, 2020, v. 57, no. 10, pp. 223–228.
- [14] Львов П.Л., Абачев К.Ю. Растительность предгорного Дагестана. Физическая география предгорного Дагестана. Ростов-на-Дону: Изд-во РГПИ, 1984. 136 с.
- [15] Алексеев Б.Д. Распространение видов *Juniperus* L. в Дагестане и их химический состав // Растительные ресурсы, 1980. Т. 16. Вып. 2. С. 219–224.
- [16] Язан П.Г. Можжевельник длинолистный на Терских песках // Природа, 1954. № 4. С. 48–51.
- [17] Особо охраняемые природные территории Республики Дагестан: Тр. Государственного природного заповедника «Дагестанский». Вып. 16. / под ред. Г.С. Джамирзоева. Махачкала: Алеф, 2020. 368 с.
- [18] Львов П.Л. Фрагменты арчевого редколесья в предгорьях Дагестана // Научные доклады высшей школы. Биол. науки, 1963. № 1. С. 120–124.
- [19] Львов П.Л. Сохраним Талгинские редколесья // Первая Дагестанская республиканская конференция по охране природы, Махачкала, 1968. С. 14–16.
- [20] Алексеев Б.Д. Растительные ресурсы Дагестана. Ч. 2. Изучение распространения и запасов сырья. Махачкала, 1979. С. 51–58.
- [21] Аджиева А.И. Лекции по растительному покрову Дагестана. Махачкала: Изд-во ДГУ, 2009. 96 с.
- [22] Садыкова Г.А. Флора и синтаксономия сообществ с участием *Juniperus oblonga* M. Bieb. Гунибского плато // Юг России: экология, развитие, 2022. Т. 17. № 4. С. 16–29.
- [23] Красная книга Республики Дагестан / под ред. Магомедова М.-Р.Д. Махачкала: Типография ИП Джамалудинов М.А., 2020. 800 с.
- [24] Красная книга Российской Федерации (растения и грибы). М.: Товарищество научных изданий КМК, 2008. 855 с.
- [25] Садыкова Г.А., Асадулаев З.М., Алиев Х.У. О статусе краснокнижных видов *Juniperus* L. в Дагестане // Научные основы охраны и рационального использования растительного покрова Волжского бассейна: Тр. XIII съезда Русского ботан. об-ва и конф. Тольятти: Касандра, 2013. Т. 3. С. 48–49.
- [26] Садыкова Г.А., Алиев Х.У., Нешатаева В.Ю., Амирханова Н.А. Сообщества *Juniperus excelsa* Bieb. subsp. *polycarpus* (Cupressaceae) Высокогорного Дагестана // Ботанический журнал, 2018. № 12. С. 1512–1537.
- [27] Садыкова Г.А., Нешатаева В.Ю. Редколесья *Juniperus excelsa* subsp. *polycarpus* в Предгорном Дагестане // Ботанический журнал, 2020. Т. 105. № 2. С. 179–195.
- [28] Асадулаев З.М., Анатов Д.М., Османов Р.М. Абрикос в Дагестане. Махачкала: Типография А4, 2020. 312 с.

Сведения об авторе

Садыкова Гульнара Алиловна — канд. биол. наук, уч. секретарь Горного ботанического сада ДФИЦ РАН (ГорБС ДФИЦ РАН), sadykova_gula@mail.ru

Поступила в редакцию 07.11.2022.

Одобрено после рецензирования 16.03.2023.

Принята к публикации 28.08.2023.

WOODY VEGETATION ON ARID DAGESTAN TERRITORIES

G.A. Sadykova

Mountain botanical garden DFRC RAS, 45, Gadgiev st., 367000, Makhachkala, Republic Dagestan, Russia

sadykova_gula@mail.ru

The flora of Dagestan has been studied quite fully (numerous works by N.I. Kuznetsov, I.I. Tumadzhyanov, Ya.I. Prokhanov, L.N. Chilikina, P.L. Lvov, etc.). At the same time, information about vegetation, including those related to arid light forests, is fragmentary and not systematized. In this article, we have made an attempt to assess the level of knowledge of woody vegetation in the arid territories of Dagestan; the results of many years of work on the altitudinal limits of their distribution, as well as the geobotanical description and classification of communities are presented. Arid light forests on the territory of Dagestan are formed by both coniferous and deciduous species. The former are represented by *Juniperus oblonga* M. Bieb., *J. polycarpus* C. Koch, *J. sabina* L. for Dagestan, we did not find them on the territory of the republic. Deciduous tree formations in the arid territories of Dagestan are mainly represented by the communities of the keep-tree (*Paliurus spina-christi* Mill.) and spirea (*Spiraea hypericifolia* L.). Other xerophilous tree species (*Lonicera tatarica* L., *Cotinus coggygria* Scop., some species of *Rhamnus* L. and *Cotoneaster* L., *Rosa* L., *Celtis* L., etc.) are included in other formations and do not form pure communities. Large natural massifs on the territory of Dagestan have been identified for *Armeniaca vulgaris* L. and species *Berberis* L. For the studied species of woody plants in arid territories, the habitats are marked, the areas and altitudinal limits are estimated, and the geobotanical characteristics of the communities with their participation are given.

Keywords: Republic of Dagestan, woody vegetation, arid light forests, junipers, *Paliurus spina-christi* Mill., *Spiraea hypericifolia* L., geobotanical characteristics, syntaxonomy

Suggested citation: Sadykova G.A. *Drevesnaya rastitel'nost' aridnykh territoriy Dagestana* [Woody vegetation on arid Dagestan territories]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2023, vol. 27, no. 5, pp. 160–169.

DOI: 10.18698/2542-1468-2023-5-160-169

References

- [1] Akaev B.A., Ataev Z.V., Gadzhiev B.S. *Fizicheskaya geografiya Dagestana* [Physical geography of Dagestan: Study guide]. Moscow: Shkola, 1996, 384 p.
- [2] Chilikina L.N., Shiffers E.V. *Karta rastitel'nosti Dagestanskoj ASSR* [Vegetation map of the Dagestan ASSR]. Moscow–Leningrad: Izd-vo AN SSSR, 1962, 95 p.
- [3] Asadulaev Z.M., Mallaliev M.M., Sadykova G.A. *Flora erodirovannykh sklonov i otkosov avtomobil'nykh dorog Gornogo Dagestana* [Flora of eroded slopes and slopes of the highways of Mountain Dagestan]. Makhachkala: DSU Publishing House, 2020, 145 p.
- [4] Lvov P.L. *Lesa Dagestana (nizovye i predgornye)* [Forests of Dagestan (lower and foothills)]. Makhachkala: Dagestanskoe knizhnoe izdatel'stvo, 1964, 214 p.
- [5] Andreeva E.N., Bakkal I.Yu., Gorshkov V.V., Lyanguzova I.V., Maznaya E.A., Neshataev V.Yu., Neshataeva V.Yu. et al. *Metody izucheniya lesnykh soobshchestv* [Methods for studying forest communities]. St. Petersburg: Research Institute of Chemistry St. Petersburg State University, M54, 2002, 240 p.
- [6] Neshataev Yu.N. *Metody analiza geobotanicheskikh materialov* [Methods of analysis of geobotanical materials]. Leningrad: Publishing house of the Leningrad University, 1987, 192 p.
- [7] *Konspekt flory Kavkaza: v 3 t. T. 1* [Summary of the flora of the Caucasus: In 3 volumes. Vol. 1.] Ed. Yu.L. Menitsky, T.N. Popova. St. Petersburg: St. Petersburg University Publishing House, 2003, 204 p.
- [8] Neshataev V.Yu. *Proekt Vserossiyskogo kodeksa fitotsenologicheskoy nomenklatury* [Draft of the All-Russian Code of Phytocenological Nomenclature]. *Rastitel'nost' Rossii* [Vegetation of Russia], 2001, no 1, pp. 62–70.
- [9] *Dendroflora Kavkaza: v 4 t. T. 1* [Dendroflora of the Caucasus: in 4 volumes]. Tbilisi: Publishing House of Academy of Sciences of the Georgian SSR, 1959, v. 1, 408 p.
- [10] Murtazaliev R.A. *Konspekt flory Dagestan: v 4 t. T. 1. Konspekt flory Dagestana (Lycopodiaceae — Urticaceae)* [Synopsis of the flora of Dagestan: In 4 volumes. V. 1. Synopsis of the flora of Dagestan (Lycopodiaceae — Urticaceae)]. Makhachkala: Izdatel'skiy dom «Epokha», 2009, 252 p.

- [11] Knyazeva S.G., Khantemirova E.V. *Sravnitel'nyy analiz geneticheskoy i morfoloogo-anatomicheskoy izmenchivosti mozhzhevel'nika obyknovennogo (Juniperus communis L.)* [Comparative analysis of genetic and morphological-anatomical variability of *Juniperus communis* L.]. *Genetika* [Genetics], 2020, v. 56, no 1, pp. 55–56. DOI: 10.31857/S0016675820010075
- [12] Asadulaev Z.M., Sadykova G.A., Ramazanov Z.R. *Anatomicheskoe stroenie pobega Juniperus excelsa Bieb. subsp. polycarpus (C. Koch) Takht. v Predgornom Dagestane* [Anatomical structure of the shoot of *Juniperus excelsa* Bieb. subsp. *polycarpus* (C. Koch) Takht. in Piedmont Dagestan]. *Vestnik Permskogo universiteta. Ser. Biologiya* [Bulletin of the Perm University. Series Biology], 2020, iss. 3, pp. 157–164. DOI: 10.17072/1994-9952-2020-3-157-164
- [13] Sadykova G.A., Hantemirova E.V., Polezhaeva M.A., Aliev Kh.U. Genetic variability of tree Junipers of section Sabina: Data from Dagestan, Armenia and Crimea. *Russian J. of Genetics*, 2020, v.57, no. 10, pp. 223–228. DOI: 10.1134/S1022795421100100
- [14] L'vov P. L. Abachev K. Yu. *Rastitel'nost' predgornogo Dagestana. Fizicheskaya geografiya predgornogo Dagestana* [Vegetation of foothill Dagestan. Physical geography of foothill Dagestan]. Rostov-on-Don: Izdatel'stvo RGPI, 1984, 136 p.
- [15] Alekseev B. D. *Rasprostranenie vidov Juniperus L. v Dagestane i ikh khimicheskii sostav* [Distribution of *Juniperus* L. species in Dagestan and their chemical composition]. *Rastitel'nye resursy* [Plant Resources], 1980, v. 16, pp. 219–224.
- [16] Yazan P.G. *Mozhzhewel'nik dlinolistnyy na Terskikh peskakh* [Long-leaved juniper on the Terek sands]. *Priroda* [Nature], 1954, no. 4, pp. 48–51.
- [17] *Osobo okhranyaemye prirodnye territorii Respubliki Dagestan* [Specially protected natural territories of the Republic of Dagestan]. *Trudy gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika «Dagestanskiy»* [Proceedings of the state natural reserve «Dagestanskiy»]. Makhachkala: Alef, 2020, v. 16, 368 p.
- [18] Lvov P.L. *Fragmenty archevogo redkoles'ya v predgor'yakh Dagestana* [Fragments of juniper woodlands in the foothills of Dagestan]. *Nauch. dokl. vyssh. shkoly. Biol. Nauki* [Scientific reports of higher education. Biol. science]. Makhachkala, 1963, no. 1, pp. 120–124.
- [19] L'vov P.L. *Sokhranim Talginskije redkoles'ya* [Let's save the Talga woodlands]. *Pervaya dagestanskaya respublikanskaya konferentsiya po okhrane prirody* [First Dagestan Republican Conference on Nature Protection]. Makhachkala, 1968, pp. 14–16.
- [20] Alekseev B.D. *Rastitel'nye resursy Dagestana. Chast' 2: (Izuchenie rasprostraneniya i zapasov syr'ya)* [Plant resources of Dagestan. Part 2: (Studying the distribution and stocks of raw materials)]. Makhachkala, 1979, pp. 51–58.
- [21] Adzhieva A. I. *Leksii po rastitel'nomu pokrovu Dagestana* [Lectures on the vegetation cover of Dagestan]. Makhachkala: Izdatel'stvo DGU, 2009, 96 p.
- [22] Sadykova G.A. *Flora i sintaksonomiya soobshchestv s uchastiyem Juniperus oblonga M. Bieb. Gunibskogo plato* [Flora and syntaxonomy of communities with *Juniperus oblonga* M. Bieb. Gunibsky plateau]. *Yug Rossii: ekologiya, razvitiye* [South of Russia: ecology, development], 2022, v.17, no. 4, pp. 16–29. DOI: 10.18470/1992-1098-2022-4-16-29
- [23] *Krasnaya kniga Respubliki Dagestan* [Red Book of the Republic of Dagestan]. Makhachkala: Tipografiya IP Dzhamaludinov M.A., 2020, 800 p.
- [24] *Krasnaya kniga Rossiyskoy Federatsii (rasteniya i griby)* [Red Book of the Russian Federation (plants and fungi)]. Moscow: Tovarihshestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2008, 855 p.
- [25] Sadykova G.A., Asadulaev Z.M., Aliev Kh.U. *O statuse krasnokniznykh vidov Juniperus L. v Dagestane* [On the status of the Red Data Book species of *Juniperus* L. in Dagestan]. *Trudy XIII s'ezda Russkogo botanicheskogo obshchestva i konferentsii «Nauchnye osnovy okhrany i ratsional'nogo ispol'zovaniya rastitel'nogo pokrova Volzhskogo basseyna»* [Proceedings of the XIII Congress of the Russian Botanical Society and Conference «Scientific foundations for the protection and rational use of the vegetation cover of the Volga basin»]. Tolyatti, Kasandra, 2013, v. 3, pp. 48–49.
- [26] Sadykova G.A., Aliev Kh. U., Neshataeva V. Yu., Amirkhanova N.A. *Soobshchestva Juniperus excelsa Bieb. subsp. polycarpus (Cupressaceae) Vysokogornogo Dagestana* [Communities *Juniperus excelsa* Bieb. subsp. *polycarpus* (Cupressaceae) of Highland Dagestan]. *Botanicheskiy zhurnal* [Botanical journal], 2018, no. 12, pp. 1512–1537.
- [27] Sadykova, G.A., Neshataeva V.Yu. *Redkoles'ya Juniperus excelsa subsp. polycarpus v Predgornom Dagestane* [Woodlands *Juniperus excelsa* subsp. *polycarpus* in Piedmont Dagestan] *Botanicheskiy zhurnal* [Botanical journal], 2020, v. 105, no. 2, pp. 179–195. DOI: 10.31857/S0006813619110164
- [28] Asadulaev Z.M., Anatov D.M., Osmanov R.M. *Abrikos v Dagestane* [Apricot in Dagestan]. Makhachkala: Tipografiya A 4, 2020, 312 p.

Author's information

Sadykova Gul'nara Alilovna — Cand. Sci. (Biology), Scientific Secretary of Mountain botanical garden of the Dagestan Federal Research Centre of the RAS, sadykova_gula@mail.ru

Received 07.11.2022.

Approved after review 16.03.2023.

Accepted for publication 28.08.2023.

МАКРОЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ЛИСТЬЕВ БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ (*BETULA PENDULA* ROTH) В ГРАДИЕНТЕ АЭРОТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ АО «КАРАБАШМЕДЬ»

В.Д. Горбунова✉, С.Л. Менщиков

ФГБУН «Ботанический сад Уральского отделения Российской академии наук», Россия, 620144, Свердловская обл., г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, д. 202 А

botgarden.gor@yandex.ru

Установлена зависимость содержания макроэлементов (азота, фосфора, калия, магния, кальция, серы) в листьях березы повислой (*Betula pendula* Roth) от жизненного состояния древостоя в градиенте аэротехногенных выбросов АО «Карабашмедь». Изучено изменение их содержания и рассчитано суммарное содержание азота, фосфора и калия (НРК) в листьях березы повислой на разном удалении от этого комбината. Определено снижение общего содержания макроэлементов в листьях березы повислой при загрязненности воздуха диоксидом серы. Выявлено сильное повреждение листьев березы диоксидом серы в зоне поражения древостоев от выбросов АО «Карабашмедь», на что указывает повышенная концентрация серы в листьях — в полтора раза больше, чем на других пробных площадях. Установлено ухудшение жизненного состояния древостоя (степень дефолиации и дехромации выше в 1,5–2 раза, ухудшение санитарного состояния в 1,5 раза). Определено увеличение дехромации листвы, уменьшение содержания калия, увеличение содержания серы; снижение содержания азота, фосфора и натрия с увеличением дефолиации. Установлено, что содержание кальция и магния не связано с дефолиацией, дехромацией и категорией состояния дерева.

Ключевые слова: береза повислая, макроэлементы, аэротехногенные выбросы

Ссылка для цитирования: Горбунова В.Д., Менщиков С.Л. Макроэлементный состав листьев березы повислой (*Betula pendula* Roth) в градиенте аэротехногенного загрязнения АО «Карабашмедь» // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 5. С. 170–178. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-5-170-178

Концентрация питательных элементов в ассимиляционных органах является одним из критериев оценки влияния аэротехногенного загрязнения, состояния лесных экосистем и питательного обеспечения древесных видов. Анализ химического состава ассимилирующих органов позволяет выявить дисбаланс питания в лесных экосистемах при недостатке или избытке необходимых питательных элементов в почве. Изменения концентрации питательных элементов в ассимилирующих органах можно использовать для мониторинга состояния лесных биогеоценозов, оценки влияния антропогенного загрязнения на них и выявления особенностей питательного режима деревьев [1–6].

Лесные экосистемы, находящиеся вблизи АО «Карабашмедь» [7–11], а также почвы [12–14] служили объектами исследований в течение многих десятилетий. Предприятия по производству меди признаются основными источниками техногенного загрязнения, в частности в окрестностях г. Карабаша. Газообразные отходы этих предприятий, состоящие из сернистого газа на 98 %, обуславливают кислотное загрязнение атмосферного воздуха. Эти территории характеризуются

огромным накопленным экологическим ущербом. Содержание в почвах соединений таких металлов, как медь, цинк, свинец, мышьяк, кадмий, ртуть, в 3–25 раз выше по сравнению с контрольными образцами почв из незагрязненных площадей [8]. Согласно литературным данным [15] содержание меди выше фоновых значений в 404 раза, кадмия — в 233, цинка — в 68, кобальта и никеля — в 2–3 раза. Исследования показали [14], что концентрация цинка и мышьяка в почвенном слое толщиной от 0 до 5 см на участках мониторинга превышает литосферные показатели в сотни раз, а содержание меди, свинца и хрома превышает их литосферные показатели в десятки раз. Концентрация ртути в почве выше предельно допустимых показателей в 2 раза, мышьяка — в 279 раз, меди — в 368, свинца — в 300, кадмия — в 5,2, цинка — в 3,8 раза [12]. Ранее, на 1 т черновой меди, выплавленной на предприятии до 1974 года, приходилось более 7 т выбросов в атмосферу, а к 2018 г. этот показатель снизился до 3,75 т [16].

Использование березы повислой широко распространено в различных климатических условиях. Поскольку этот вид хорошо приспособляется к неблагоприятным факторам, особенно к загрязнению атмосферного воздуха и почв [17],

характеризуется особенностями в потреблении химических элементов. Листья березы аккумулируют медь, никель и марганец интенсивнее, чем хвоя ели или сосны [18, 19]. Береза повислая имеет важное значение в восстановлении растительности, особенно на загрязненных участках [20], и способствует повышению устойчивости лесов, заселяясь на лесные прогалины, увеличению питательности почвы и биоразнообразию [21]. Сравнение содержания макро- и микроэлементов в листьях разных форм березы повислой показало, что соотношение потребления и закрепления в листе макроэлементов устойчиво и не зависит от загрязненности почв [22]. Популяции *B. pendula*, произрастающие на постиндустриальных пустошах, представляют собой различные морфотипы с более низкими значениями почти всех репродуктивных признаков по сравнению с популяцией березы из незагрязненных территорий [23].

Состояние березовых древостоев в районе действия АО «Карабашмедь» оценивалось с помощью методов флуктуирующей асимметрии листовых пластинок [24] и интегрального показателя стабильности развития [25]. В условиях атмосферного загрязнения у березы повислой отмечалось снижение накопления биомассы фотосинтезирующего аппарата и прироста годичных побегов [26], радиального прироста ствольной древесины [27], количества хлорофилла а и b и изменение соотношения хлорофиллов а/b [28–30].

Современное состояние зоны действия АО «Карабашмедь», обуславливает необходимость изучения лесных экосистем в ее пределах. Мониторинг лесов и сбор фактических данных способствуют развитию устойчивого лесопользования и защиты лесов. Поскольку защита лесов от негативных биотических и абиотических факторов отнесена к одному из приоритетов лесной политики, информация о состоянии лесов в России определяется как актуальная.

Концентрация элементов (питательных веществ) и их соотношение в листе показывают питательный статус дерева с точки зрения их дефицита или избытка. Содержание питательных веществ в листе деревьев отражает влияние атмосферы и почвы на состояние древостоя, является важной частью Международной совместной программы комплексного мониторинга воздействий загрязнения воздуха на экосистемы в реализации которых принимает участие Российская Федерация.

Тем не менее, макроэлементный состав листьев березы повислой, обеспечивающий основные метаболические процессы и формирующий жизнедеятельность вида, изучен недостаточно.

Цель работы

Цель работы — изучение влияния загрязнения атмосферного воздуха на состояние лесных экосистем с помощью оценки жизненного состояния (используя показатели дефолиации, дехромации, санитарного состояния) деревьев березы повислой (*Betula pendula* Roth) и макроэлементного (азот, фосфор, калий, магний, кальций, сера) состава листьев.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования являются естественные древостои березы повислой (*Betula pendula* Roth), произрастающие в условиях воздействия выбросов АО «Карабашмедь», расположенного в естественной депрессии — Саймоновской долине. Здесь преобладают северо-, юго-западное и западное направления ветра. Годовая сумма осадков составляет 400 мм, в морозный период (ноябрь–декабрь) — 90 мм, безморозный (апрель–октябрь) — 300 мм [31].

Почвенный профиль характеризуется каменистостью и низкой мощностью [32]. Водоемы сильно загрязнены вследствие сброса отходов в пойму р. Сак-Элга [33]. В результате работы АО «Карабашмедь» и других горнорудных предприятий на территории, прилегающей к г. Карабаш образовался большой объем различных химических элементов I–III классов опасности — кадмия, хрома, меди, цинка, железа, мышьяка, свинца и др. Эти элементы в сотни раз превышают предельно допустимые санитарные нормы, установленные в Российской Федерации [16]. В 2000 г. содержание диоксида серы в воздухе в подфакельной зоне комбината на расстоянии 1 км составляло 20 000 мг/м³ [34].

На разной удаленности от источника эмиссии были выбраны загрязненные и условно чистые участки березового древостоя — С-1,5, СВ-5, СВ-15, СВ-20 и СВ-24 (буквы обозначают направление, числа — расстояние от источника загрязнения до временной пробной площади (ВПП) в километрах). Всего было заложено пять ВПП на расстоянии от 1,5 до 24 км от комбината в северном и северо-восточном направлениях.

Для исследования состояния березовых древостоев использовался метод биоиндикации, основанный на учете повреждения деревьев по таким показателям, как дефолиация (потеря хвои и листья) и дехромация (изменение окраски) крон деревьев [35]. Модельные деревья были взяты из верхнего яруса древостоя.

Для изучения индивидуальной изменчивости брали образец листьев массой около 20 г с одного дерева. Всего было отобрано с 10 деревьев с каждой ВПП. Согласно литературным данным [36],

род береза имеет два типа побегов, однако в данном исследовании рассматриваются только листья с коротких побегов, поскольку они составляют основную часть кроны взрослых деревьев и характеризуются одинаковым возрастом благодаря синхронному раскрытию листьев весной.

В листьях определяли содержание общего азота, фосфора, калия, кальция, магния, натрия и серы. Общее содержание азота определяли по методу Кьельдаля с помощью автоматического анализатора азота UDK 152 (VELP scientifica, Italy). Содержание калия, кальция, магния, натрия и фосфора определяли из одной навески мокрым озолением в концентрированной серной кислоте с добавлением окислителей. После озоления, содержание калия, кальция и магния определяли с помощью атомно-абсорбционного спектрофотометра (novAA-300), содержание фосфора — спектрофотометрическим методом с молибденовой синью [37]. Содержание серы определяли по методу ЦИНАО (1999) [38].

Полученный материал был проанализирован с использованием пакета программ Microsoft Excel 2007 и метода статистического анализа в программе STATISTICA V. 10 (StatSoft, Inc.). Также применили однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA) с последующим определением с помощью критерия Фишера (НЗР) различий между тремя группами и более. Зависимость содержания элементов в растениях от жизненного состояния дерева проверили с помощью параметрического корреляционного теста Пирсона. Результаты математических анализов оценивали по 5-процентному уровню значимости.

Результаты и обсуждение

Рассмотрим характеристики состояния березового древостоя на различном расстоянии от источника загрязнения АО «Карабашмедь» (табл. 1). Березовые древостои, которые находятся ближе к источнику загрязнения (С-1,5), характеризуются наибольшей поврежденностью. Наблюдается высокая степень дефолиации — 59,5 %, дехромации — 52 % и категория состояния — 3,2, что в 1,5–2 раза выше, чем в пределах более удаленных от источника загрязнения ВПП и достоверно отличается от этих показателей на остальных пробных площадях.

Проанализируем результаты корреляционного анализа содержания макроэлементов и состояния древостоя (табл. 2). С увеличением степени дехромации листьев содержание калия снижается ($r = -0,32$, $p < 0,05$), серы — увеличивается ($r = 0,30$, $p < 0,05$). При увеличении степени дефолиации и категории состояния наблюдается снижение содержания азота ($r = -0,50$ и $r = -0,48$

Т а б л и ц а 1

Характеристика березового древостоя Birch stands characteristics

Участок	Расстояние от источника загрязнения, км	Средняя дефолиация, %	Средняя дехромация, %	Категория состояния
С-1,5	1,5	59,5 ± 3,4	52 ± 4,5	3,2 ± 0,1
СВ-5	5	42,8 ± 6,1	16,7 ± 5,6	2,6 ± 0,2
СВ-15	15	25,6 ± 3,2	8,5 ± 2,6	2,1 ± 0,07
СВ-20	20	22 ± 2,5	16,1 ± 4,2	1,6 ± 0,07
СВ-24	24	39,5 ± 5,1	17,8 ± 2,8	2,4 ± 0,2

Т а б л и ц а 2

Связь (коэффициент корреляции Пирсона) содержания макроэлементов в листьях березы повислой и жизненного состояния дерева

Relationship (Pearson's correlation coefficient) between macronutrient content in Silver birch leaves and tree life condition

Параметры	Средняя дефолиация, %	Средняя дехромация, %	Категория состояния
Средняя дефолиация, %	1,00	0,61	0,85
Средняя дехромация, %	0,61	1,00	0,56
Категория состояния	0,85	0,56	1,00
Кальций	0,00	0,19	0,03
Калий	-0,18	-0,32	-0,25
Магний	-0,10	-0,27	-0,09
Азот	-0,50	-0,30	-0,48
Фосфор	-0,30	-0,18	-0,28
Сера	0,18	0,30	0,21
Азот + фосфор + калий	-0,46	-0,40	-0,46

Примечание. Выделены статистически значимые корреляции при $p < 0,05$

соответственно, $p < 0,05$) и фосфора ($r = -0,30$ и $r = -0,28$ соответственно, $p < 0,05$). Содержание кальция и магния не зависит от степени дефолиации, дехромации и категории состояния дерева ($p > 0,05$).

Таким образом, с увеличением дехромации листья содержание калия уменьшается, серы — увеличивается, с увеличением дефолиации содержание азота, фосфора и натрия снижается. Содержание кальция и магния не связано с дефолиацией, дехромацией и категорией состояния деревьев ($p > 0,05$).

Содержание общего азота в листьях варьирует между ВПП. Наименьшие значения в контрольных образцах составляют $21,2 \pm 0,9$ мг/г (СВ-24),

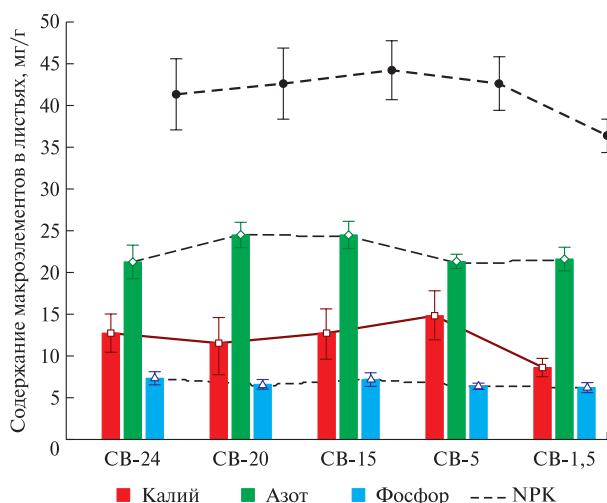


Рис. 1. Содержание азота, фосфора, калия, NPK в листьях березы повислой (*B. pendula*) на различном расстоянии от АО «Карабашмедь»; вертикальные линии обозначают стандартное отклонение (SD), индивидуальную изменчивость из 15 деревьев

Fig. 1. Nitrogen, phosphorus, potassium, NPK content in Silver birch leaves (*B. pendula*) at different distances from Karabashmed JSC; vertical lines denote standard deviation (SD), individual variability from 15 trees

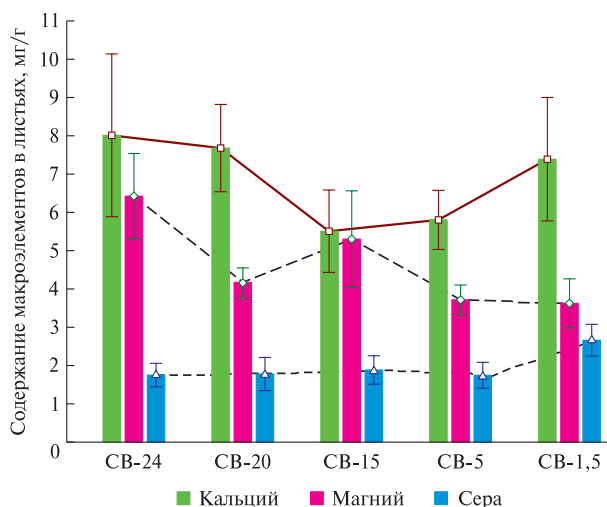


Рис. 2. Содержание кальция, магния и серы в листьях березы повислой (*B. pendula*) на различном расстоянии от АО «Карабашмедь»; вертикальные линии обозначают стандартное отклонение (SD), индивидуальную изменчивость из 15 деревьев

Fig. 2. Calcium, magnesium and sulphur content in Silver birch leaves (*B. pendula*) at different distances from Karabashmed JSC; vertical lines indicate standard deviation (SD), individual variability from 15 trees

в зонах приближенных к источнику выбросов — $21,4 \pm 0,6$ мг/г (СВ-1,5 и СВ-5) (рис. 1, 2). Содержание калия в листьях в зоне сильного загрязнения на участке СВ-1,5 снизилось на 35 % по сравнению с контрольными образцами и составило $8,7 \pm 0,5$ мг/г, достоверно отличаясь от участков

СВ-24, СВ-15 и СВ-5. Содержание фосфора в листьях снизилось на 15 % на ВПП, расположенных ближе к источнику загрязнения (участки СВ-5 и СВ-1,5) по сравнению с контрольными образцами (СВ-24) (см. рис. 1, 2), достоверно отличаясь от участков СВ-24 и СВ-15 ($p < 0,05$).

В ВПП, расположенной ближе к источнику загрязнения (СВ-1,5), в листьях березы повислой повышается содержание серы на 35 % ($p < 0,05$) по сравнению с другими ВПП, и составляет $2,65 \pm 0,18$ мг/г (см. рис. 1, 2). Также обнаружена положительная корреляция содержания серы с дехромацией листовой ($r = 0,30$, $p < 0,05$), т. е. содержание серы в листе увеличилось в поврежденных выбросами сернистого газа древостоях березы повислой, что также проявлялось визуально: листья пожелтели, следовательно, дехромация увеличилась.

Преобладающий элемент питания в листе — азот, на его долю приходится 22...24 мг/г, на втором месте — калий — 9...15, на долю фосфора — приходится 6,5...7, кальция — 5,5...8, магния — 3,6...6,4, серы — 1,7...2,7, натрия — 1,8...2,5 мг/г.

Параметр, отражающий жизненное состояние древостоя, — суммарное содержание биофильных элементов — NPK. На ВПП, наиболее поврежденной диоксидом серы (СВ-1,5), концентрация биофильных элементов на 16 % ниже и достоверно отличается от других ВПП. Кроме того, этот параметр зависит от жизненного состояния древостоя — обнаружена отрицательная взаимосвязь со степенью дефолиации (–46 %), дехромацией (–40 %) и категорией состояния (–46 %), содержание биофильных элементов уменьшается с увеличением дефолиации, дехромацией и ухудшением санитарного состояния (см. табл. 2).

Таким образом, изученные макроэлементы можно разделить на две группы: 1) не связанные с жизненным состоянием дерева, это кальций и магний, на содержание которых в листьях влияет только расстояние от произрастания до источника загрязнения; 2) связанные с жизненным состоянием дерева — калий, азот, фосфор, сера, NPK, на содержание которых в листьях влияют расстояние от произрастания до источника выбросов и жизненное состояние древостоя.

Выводы

Общее содержание макроэлементов в листьях березы повислой снизилось вследствие загрязнения атмосферного воздуха диоксидом серы, хотя общее содержание азота существенно не изменилось, содержание калия и фосфора также уменьшилось. Концентрация серы в листьях березы в зоне поражения АО «Карабашмедь» в 1,5 раза больше, чем на других ВПП, хуже жизненное

состояние древостоя — степень дефолиации и дехромации выше в 1,5–2 раза, а санитарное состояние — в 1,5 раза. Это указывает на сильное повреждение листьев березы повислой диоксидом серы. Загрязняющие факторы — выбросы автотранспорта, промышленные выбросы, световое загрязнение, по литературным данным [39] приводят к снижению содержания основных групп биологически активных веществ в листьях берез. Наличие диоксида серы в атмосферном воздухе ухудшает жизненное состояние древостоя березы повислой и отражается на химическом составе листьев — общее содержание биофильных элементов меньше необходимого.

Изученные макроэлементы разделены на две группы: 1) кальций и магний; 2) калий, азот, фосфор, сера и NPK. Достоверная связь между уровнем загрязнения и расстоянием от произрастания до источника эмиссии на территории импактной зоны отсутствует [40]. С помощью дисперсионного и корреляционного анализов установлено, что снижение содержания NPK может свидетельствовать о негативном воздействии техногенного загрязнения на березовый древостой. Ухудшение жизненного состояния древостоя березы повислой также может служить одним из диагностических признаков снижения содержания NPK в листьях берез.

Работа выполнена в рамках государственного задания Ботанического сада Уральского отделения Российской академии наук.

Список литературы

- [1] Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва — растения. Новосибирск: Наука, 1991. 151 с.
- [2] Митрофанов Д.П. Химический состав лесных растений Сибири. Новосибирск: Наука, 1977. 120 с.
- [3] Прокушкин С.Г. Минеральное питание сосны (на холодных почвах). Новосибирск: Наука, 1982. 202 с.
- [4] Helmisaari H.-S. Temporal variation concentration of *Pinus sylvestris* needles // *Silva Fennica*, 1992, v. 26, pp. 145–153.
- [5] Huttunen S., Laine K., Torvela H. Seasonal Sulphur contents of pine needles as indices of air pollution // *Ann. Bot. Fennici*, 1985, v. 22, pp. 343–359.
- [6] Волова А.В., Наквасина Н.Е. Содержание макро- и микроэлементов в листьях березы (*Betula pendula* Roth.) различных форм // *Лесной вестник / Forestry Bulletin*, 2019. Т. 23. № 6. С. 5–12.
- [7] Менщиков С.Л. Методические аспекты оценки ущерба лесов, поврежденных промышленными выбросами на Среднем Урале // *Леса Урала и хозяйство в них*, 2001. Вып. 21. С. 243–251.
- [8] Kumar A., Tripti, Maleva M., Kiseleva I., Kumar S.M., Morozova M. Toxic metal(loid)s contamination and potential human health risk assessment in the vicinity of century-old copper smelter, Karabash, Russia // *Environ Geochem Health*, 2019. <https://doi.org/10.1007/s10653-019-00414-3>
- [9] Бачурина А.В., Залесов С.В. Оценка состояния окружающей среды по показателю флуктуирующей асимметрии // *Актуальные проблемы лесного комплекса*, 2020. № 56. С. 98–103.
- [10] Усольцев В.А., Цепордей И.С., Ковязин В.Ф., Уразова А.Ф., Борников А.В. Биомасса генеративных органов сосны обыкновенной и березы повислой в градиенте загрязнений от Карабашского медеплавильного завода на Урале // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии*, 2021. № 234. С. 23–52
- [11] Махнева С.Г., Менщиков С.Л. Качество пыльцы сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в зоне действия выбросов АО «Карабашмедь» // *Лесной вестник / Forestry Bulletin*, 2021. Т. 25. № 1. С. 32–44. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-1-32-44
- [12] Синявский И.В., Князева Т.Г. Тяжелые металлы в системе «почва — растение — человек» в промышленных городах горнолесной зоны Южного Урала // *Агропродовольственная политика России*, 2016. № 4(52). С. 59–62.
- [13] Кузьмина Н.А., Мохначев П.Е., Менщиков С.Л. Аккумуляция тяжелых металлов в снеговой воде, почве и состоянии березовых древостоев в условиях техногенного загрязнения // *Лесной вестник / Forestry Bulletin*, 2020. Т. 24. № 6. С. 73–82. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-6-73-82
- [14] Minkina T.M., Nevidomskaya D.G., Bauer T.V., Mandzhieva S.S., Linnik V.G., Khoroshavin V.Y. Forms of Cu (II), Zn (II), and Pb (II) compounds in technogenically transformed soils adjacent to the Karabashmed Copper Smelter J. of Soils and Sediments, 2018, t. 18, no. 6, pp. 2217–2228.
- [15] Шабанов М.В., Стрекулев Г.Б. Геохимические процессы накопления тяжелых металлов в ландшафтах Южного Урала // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*, 2021. Т. 332. № 1. С. 184–192.
- [16] Шнейдмиллер Н.Ф., Мамедов Г.Р. Особенности развития малых городов России в условиях экологического кризиса на примере города Карабаш Челябинской области // *Вестник Кемеровского государственного университета. Серия: Политические, социологические и экономические науки*, 2018. № 3. С. 183–190. DOI:10.21603/2500-3372-2018-3-183-190.
- [17] Петункина Л.О., Сарсацкая А.С. Береза повислая как индикатор качества городской среды // *Вестник Кемеровского государственного университета*, 2015. № 3(4). С. 68–71.
- [18] Протасова Н.А., Беляев А.Б. Химические элементы в жизни растений // *Соровский образовательный журнал*, 2001. № 3. С. 25–32.
- [19] Диярова Э.Р., Гиниятуллин Р.Х., Кулагин А.А. Содержание металлов в древесных растениях, произрастающих на отвалах Учалинского горно-обогачительного комбината Республики Башкортостан // *Вестник Оренбургского государственного университета*, 2009. № 6. С. 118–120.
- [20] Franiel I. Development of *Betula pendula* seedlings growing on the «Silesia Steelworks» dumping grounds in Katowice // *Acta Agrophys*, 2011, no. 51, pp. 51–57.
- [21] Dubois H., Verkasalo E., Claessens H. Potential of Birch (*Betula pendula* Roth and *B. pubescens* Ehrh.) for forestry and forest-based industry sector within the changing climatic and socio-economic context of Western Europe // *Forests*, 2020, v. 11, p. 336 (2020). DOI:10.3390/f11030336

- [22] Волова А.В., Наквасина Е.Н. Содержание макро- и микроэлементов в листьях березы (*Betula pendula* Roth) различных форм // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2019. Т. 23. №6. С. 5-12.
DOI: 10.18698/2542-1468-2019-6-5-12.
- [23] Franiel I., Kompala-Baba A. Reproduction strategies of the silver birch (*Betula pendula* Roth) at post-industrial sites // Sci Rep, 2021, v. 11, p. 11969.
<https://doi.org/10.1038/s41598-021-91383-0>
- [24] Бачурина А.В., Залесов С.В. Использование метода биоиндикации для оценки качества среды промышленных городов Урала // Лесной вестник. Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 3. С. 11-17.
- [25] Тагирова О.В., Кулагин А.Ю. Фенотипические реакции березы повислой (*Betula pendula* Roth) в условиях антропогенного воздействия // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 2019. Т. 21. № 2 (88). С. 45–50.
- [26] Lisotova E.V., Sunstova L.N., Inshakov E.M. Analysis of state of *Betula pendula*, *Padus maackii* and *Malus baccata* tree in the main plantings OF Krasnoyarsk city // Плодоводство, семеноводство, интродукция древесных растений, 2020. Т. 23. С. 58–60.
- [27] Зайцев Г.А., Логвинов К.В. Радиальный прирост березы повислой (*Betula pendula* Roth) в условиях Липецкого промышленного центра // Инновационные подходы к обеспечению устойчивого развития социо-эколого-экономических систем. Материалы V Междунар. конф. Институт экологии Волжского бассейна РАН; Самарский государственный экономический университет, 2018. С. 73–76.
- [28] Соколова Г.Г. Влияние техногенного загрязнения на пигментный состав листьев березы повислой (*Betula pendula* Roth) в условиях города Барнаула // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии, 2020. № 19–1. С. 223–228.
- [29] Сумарокова И.Е. Листья березы повислой (*Betula pendula*) как биоиндикаторы окружающей среды // Тенденции развития науки и образования, 2022. № 85–2. С. 60–63.
- [30] Тюлькова Е.Г., Карпиченко А.А. Эколого-геохимическая оценка условий развития и адаптация древесных растений к техногенному воздействию (на примере г. Гомеля) // Природные ресурсы, 2020. № 2. С. 70–77.
- [31] Дзугаев М.Д. Карабаш — город «Экологического бедствия» // Вестник Челябинского государственного университета. Серия: Право, 2003. № 2(6). С. 92–97.
- [32] Залесов С.В., Бачурина А.В., Бачурина С.В. Состояние лесных насаждений, подверженных влиянию промышленных поллютантов ЗАО «Карабашмедь», и реакция их компонентов на проведение рубок обновления. Екатеринбург: Изд-во УГЛТУ, 2017. 277 с.
- [33] Калабин Г.В., Титова А.В., Шаров А.В. Модернизация медеплавильного производства комбината ЗАО «Карабашмедь» и динамика состояния природной среды в зоне его влияния // Маркшейдерия и недропользование, 2011. № 3 (53). С. 65–70.
- [34] Udachin V.N., Williamson B.J., Purvis O.W., Spiro B., Dubbin W., Herrington R.J., Mikhailova I. Assessment of environmental impacts of active smelter operations and abandoned mines in Karabash, Ural Mountains of Russia // Sust. Devel, 2003, v. 11, pp. 1–10. DOI:10.1002/sd.211
- [35] Методика организации и проведения работ по мониторингу лесов европейской части России по программе ICP-Forests (методика ЕЭК ООН). Москва, 1995. 42 с.
- [36] Macdonald A.D., Mothersill D.H. Shoot development in *Betula papyrifera*. 1. Short-shoot organogenesis // Can J Bot., 1983, pp. 3049–3065.
- [37] Проведение биохимического анализа растительных образцов. Практические рекомендации / под ред. М.И. Касаткиной. Л.: ЛенНИИЛХ, 1979. 26 с.
- [38] Методические указания по определению серы в растениях и кормах растительного происхождения. М.: Росинформагротех, 2004. 8 с.
- [39] Ханина Л.Г., Бобровский М.В., Смирнов В.Э., Грозовская И.С., Романов М.С., Лукина Н.В., Исаева Л.Г. Функциональные группы видов и микрогруппировки лесного напочвенного покрова для моделирования его динамики // Математическая биология и биоинформатика, 2015. Т. 10. № 1. С. 15–33.
- [40] Коротеева Е.В., Вейберг Е.И. Закономерности экотопического распределения сосудистых растений в импактной зоне Медеплавильного комбината (Карабаш, Южный Урал) // Растительные ресурсы, 2019. Т. 55. № 1. С. 85–101.

Сведения об авторах

Горбунова Виктория Дмитриевна [✉] — канд. биол. наук, науч. сотр. лаборатории техногенных растительных сообществ, ФГБУН «Ботанический сад Уральского отделения Российской академии наук», botgarden.gor@yandex.ru

Меншиков Сергей Леонидович — д-р с.х. наук, вед. науч. сотр. лаборатории техногенных растительных сообществ, ФГБУН «Ботанический сад Уральского отделения Российской академии наук», mssl@botgard.uran.ru

Поступила в редакцию 07.11.2022.

Одобрено после рецензирования 20.04.2023.

Принята к публикации 18.07.2023.

SILVER BIRCH (*BETULA PENDULA* ROTH) LEAVES MACROELEMENT COMPOSITION IN AEROTECHNOGENIC POLLUTION BY «KARABASHMED» GRADIENT

V.D. Gorbunova✉, S.L. Menshchikov

botgarden.gor@yandex.ru

The dependence of the macroelements content in the Silver birch (*Betula pendula* Roth) leaves on the vital state of the stand in the gradient of aerotechnogenic emissions by the Karabash Copper Smelting Plant was established. The content of macro- and microelements (nitrogen, phosphorus, potassium, magnesium, calcium, sulfur) was studied, and NPK was calculated as the total content of nitrogen, phosphorus and potassium in the leaves of a birch tree at different distances from the Karabashmed plant. The study showed that when air was polluted with sulfur dioxide, the total content of macronutrients in the leaves decreased. Severe damage to birch leaves by sulfur dioxide in the affected area of Karabashmed is indicated by an increased concentration of sulfur in the leaves — one and a half times more than on another sample area, as well as deterioration of the vital condition of the stand (the degree of defoliation and dechromation is 1.5–2 times higher, deterioration of the sanitary condition is 1.5 times more when in the others sites). With an increase in foliage dechromation, the potassium content decreases, the sulfur content increases; with a defoliation increase, the content of nitrogen, phosphorus and sodium decreases. The content of calcium and magnesium is not related either to defoliation, dechromation or the category of the tree condition.

Keywords: silver birch, macronutrients, aerotechnogenic emissions

Suggested citation: Gorbunova V.D., Menshchikov S.L. *Makroelementnyy sostav list'ev berezy povisloy (Betula pendula Roth) v gradiente aerotekhnogennogo zagryazneniya AO «Karabashmed'»* [Silver birch (*Betula pendula* Roth) leaves macroelement composition in aerotechnogenic pollution by «Karabashmed» gradient]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2023, vol. 27, no. 5, pp. 170–178. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-5-170-178

References


- [1] Ilyin V.B. *Tyazhelye metally v sisteme pochva — rasteniya* [Heavy metals in the soil — plants system]. Novosibirsk: Nauka, 1991, 151 p.
- [2] Mitrofanov D.P. *Himicheskiy sostav lesnykh rasteniy Sibiri* [Chemical composition of Siberian forest plants]. Novosibirsk: Nauka, 1977, 120 p.
- [3] Prokushkin S.G. *Mineral'noe pitaniye sosny (na holodnykh pochvakh)* [Mineral nutrition of pine (on cold soils)]. Novosibirsk: Nauka, 1982, 202 p.
- [4] Helmisaari H.-S. Temporal variation concentration of *Pinus sylvestris* needles. *Silva Fennica*, 1992, v. 26, pp. 145–153.
- [5] Huttunen S., Laine K., Torvela H. Seasonal Sulphur contents of pine needles as indices of air pollution. *Ann. Bot. Fennici*, 1985, v. 22, pp. 343–359.
- [6] Volova A.V., Nakvasina N.E. *Soderzhanie makro- i mikroelementov v list'yakh berezy (Betula pendula Roth.) razlichnykh form* [The content of macro- and microelements in birch leaves (*Betula pendula* Roth.) of various forms]. *Forest Bulletin / Forestry Bulletin*, 2019, vol. 23, no. 6, pp. 5–12.
- [7] Menshchikov S.L. *Metodicheskie aspekty ocenki ushcherba lesov, povrezhdennykh promyshlennymi vybrosami na Srednem Urale* [Methodological aspects of assessing damage to forests damaged industrial emissions in the Middle Urals]. *Lesnaya Urala i khozyaystvo v nikh [Ural forests and agriculture in them]*, 2001, iss. 21, pp. 243–251.
- [8] Kumar A., Tripti, Maleva M., Kiseleva I., Kumar S.M., Morozova M. Toxic metal(loid)s contamination and potential human health risk assessment in the vicinity of century-old copper smelter, Karabash, Russia. *Environ Geochem Health*, 2019. <https://doi.org/10.1007/s10653-019-00414-3>
- [9] Bachurina A.V., Zalesov S.V. *Oценка sostoyaniya okruzhayushchey sredy po pokazatelyu fluktuiruyushchey asimmetrii* [Assessment of the state of the environment by the indicator of fluctuating asymmetry]. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa [Actual problems of the forest complex]*, 2020, no. 56, pp. 98–103.
- [10] Usoltsev V.A., Tsepordey I.S., Kovyazin V.F., Urazova A.F., Bornikov A.V. *Biomassa generativnykh organov sosny obyknovennoy i berezy povisloy v gradiente zagryazneniy ot Karabashskogo medeplavil'nogo zavoda na Urale* [Biomass of generative organs of scots pine and hanging birch in the pollution gradient from the Karabash copper smelter in the Urals]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii [Izvestiya of the St. Petersburg Forestry Academy]*, 2021, no. 234, pp. 23–52
- [11] Makhniova S.G., Menshchikov S.L. *Kachestvo pyl'tsy sosny obyknovennoy (Pinus sylvestris L.) v zone deystviya vybrosov AO «Karabashmed'»* [Common pine (*Pinus sylvestris* L.) pollen quality in JSC «Karabashmed» emission zone]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 1, pp. 32–44. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-1-32-44
- [12] Sinyavsky I.V., Knyazeva T.G. *Tyazhelye metally v sisteme «pochva — rasteniye — chelovek» v promyshlennykh gorodakh gornolesnoy zony Yuzhnogo Urala* [Heavy metals in the «soil — plant — man» system in industrial cities of the mountain forest zone of the Southern Urals]. *Agroprodovol'stvennaya politika Rossii [Agro-food policy of Russia]*, 2016, no. 4(52), pp. 59–62.
- [13] Kuz'mina N.A., Mokhnachev P.E., Menshchikov S.L. *Akkumulyatsiya tyazhelykh metallov v snegovoy vode, pochve i sostoyaniye berezovykh drevostoev v usloviyakh tekhnogennogo zagryazneniya* [Accumulation of heavy metals in snow water, soil and the state of birch stands in conditions of technogenic pollution] *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 6, pp. 73–82. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-6-73-82

- [14] Minkina T.M., Nevidomskaya D.G., Bauer T.V., Mandzhieva S.S., Linnik V.G., Khoroshavin V.Y. Forms of Cu (II), Zn (II), and Pb (II) compounds in technogenically transformed soils adjacent to the Karabashmed Copper Smelter J. of Soils and Sediments, 2018, v. 18, no. 6, pp. 2217–2228.
- [15] Shabanov M.V., Strekulev G.B. *Geohimicheskie processy nakopleniya tyazhelyh metallov v landshaftah YUzhnogo Urala* [Geochemical processes of accumulation of heavy metals in the landscapes of the Southern Urals]. Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov [Proceedings of Tomsk Polytechnic University. Georesources Engineering], 2021, v. 332, no. 1, pp. 184–192.
- [16] Schneidmiller N.F., Mammadov G.R. *Osobennosti razvitiya malyh gorodov Rossii v usloviyah ekologicheskogo krizisa na primere goroda Karabash Chelyabinskoy oblasti* [Features of the development of small towns in Russia in the context of the ecological crisis on the example of the city of Karabash, Chelyabinsk region]. Vestnik Kemerovskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Politicheskoe, sotsiologicheskoe i ekonomicheskoe nauki [Bulletin of Kemerovo State University. Series: Political, Sociological and Economic Sciences], 2018, no. 3, pp. 183–190. DOI:10.21603/2500-3372-2018-3-183-190
- [17] Petunkina L.O., Sarsatskaya A.S. *Bereza povislaya kak indikator kachestva gorodskoy sredy* [Silver birch as an indicator of the quality of the urban environment]. Vestnik Kemerovskogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of Kemerovo State University], 2015, no. 3(4), pp. 68–71.
- [18] Protasova N.A., Belyaev A.B. *Himicheskie elementy v zhizni rasteniy* [Chemical elements in plant life]. Sorovskiy obrazovatel'nyy zhurnal [Sorovsky Educational J.], 2001, no. 3, pp. 25–32.
- [19] Diyarova E.R., Giniyatullin R.H., Kulagin A.A. *Soderzhanie metallov v drevesnykh rasteniyah, proizrastayushchih na otvalah Uchalinskogo gorno-obogatitel'nogo kombinata Respubliki Bashkortostan* [The content of metals in woody plants growing on the dumps of the Uchalinsky mining and Processing Plant Republic of Bashkortostan]. Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of Orenburg State University], 2009, no. 6, pp. 118–120.
- [20] Franiel I. Development of *Betula pendula* seedlings growing on the «Silesia Steelworks» dumping grounds in Katowice. Acta Agrophys, 2011, no. 51, pp. 51–57.
- [21] Dubois H., Verkasalo, E., Claessens, H. Potential of Birch (*Betula pendula* Roth and *B. pubescens* Ehrh.) for forestry and forest-based industry sector within the changing climatic and socio-economic context of Western Europe. Forests, 2020, v. 11, p. 336. DOI:10.3390/f11030336
- [22] Volova A.V., Nakvasina E.N. *Soderzhanie makro- i mikroelementov v list'yakh berezy (Betula pendula Roth.) razlichnykh form* [Macro and micronutrients contents in birch leaves (*Betula pendula* Roth.) of different form]. Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin, 2019, vol. 23, no. 6, pp. 5–12. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-6-5-12
- [23] Franiel I., Kompała-Bąba A. Reproduction strategies of the silver birch (*Betula pendula* Roth) at post-industrial sites // Sci Rep, 2021, v. 11, p. 11969. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-91383-0>
- [24] Bachurina A.V., Zalesov S.V. *Ispol'zovanie metoda bioindikatsii dlya otsenki kachestva sredy promyshlennykh gorodov Urala* [Bioindication method application to assess environment quality of industrial cities in the Urals]. Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin, 2020, vol. 24, no. 3, pp. 11–17. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-3-11-17
- [25] Tagirova O.V., Kulagin A.Yu. *Fenotipicheskie reakcii berezy povisloy (Betula pendula Roth) v usloviyah antropogennogo vozdeystviya* [Phenotypic reactions of the hanging birch (*Betula pendula* Roth) under conditions of anthropogenic impact]. Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk [Izvestiya Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2019, v. 21, no. 2 (88), pp. 45–50.
- [26] Lisotova E.V., Sunstova L.N., Inshakov E.M. Analysis of state of *Betula pendula*, *Padus maackii* and *Malus baccata* tree in the main plantations of Krasnodar city. Fruit growing, seed production, introduction of woody plants, 2020, v. 23, pp. 58–60.
- [27] Zaitsev G.A., Logvinov K.V. *Radial'nyy prirost berezy povisloy (Betula pendula Roth) v usloviyah Lipetskogo promyshlennogo centra* [Radial growth of the hanging birch (*Betula pendula* Roth) in the conditions of the Lipetsk industrial center]. Innovatsionnye podkhody k obespecheniyu ustoychivogo razvitiya sotsio-ekologo-ekonomicheskikh sistem. Materialy pyatoy Mezhdunarodnoy konferentsii. Institut ekologii Volzhskogo basseyna RAN; Samarskiy gosudarstvennyy ekonomicheskii universitet [Innovative approaches to ensuring sustainable development of socio-ecological and economic systems. Materials of the Fifth International Conference. Institute of Ecology of the Volga Basin of the Russian Academy of Sciences; Samara State University of Economics], 2018, pp. 73–76.
- [28] Sokolova G.G. *Vliyaniye tekhnogennogo zagryazneniya na pigmentnyy sostav list'ev berezy povisloy (Betula pendula Roth) v usloviyah goroda Barnaula* [The effect of technogenic pollution on the pigment composition of the leaves of the silver birch (*Betula pendula* Roth) in the conditions of the city of Barnaul]. [Problems of Botany of Southern Siberia and Mongolia], 2020, no. 19–1, pp. 223–228.
- [29] Sumarokova I.E. *List'ya berezy povisloy (Betula pendula) kak bioindikatory okruzhayushchey sredy* [Silver birch leaves (*Betula pendula*) as bioindicators of the environment]. Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya [Trends in the development of science and education], 2022, no. 85–2, pp. 60–63.
- [30] Tyul'kova E.G., Karpichenko A.A. *Ekologo-geokhimicheskaya otsenka usloviy razvitiya i adaptatsiya drevesnykh rasteniy k tekhnogennomu vozdeystviyu (na primere g. Gomelya)* [Ecological and geochemical assessment of development conditions and adaptation of woody plants to technogenic effects (on the example of Gomele)]. Prirodnye resursy [Natural Resources], 2020, no. 2, pp. 70–77.
- [31] Dzugaev M.D. *Karabash — gorod «Ekologicheskogo bedstviya»* [Karabash — the city of «Ecological disaster»]. Vestnik Chelyabinskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Pravo [Bulletin of Chelyabinsk State University. Series: Law], 2003, no. 2(6), pp. 92–97.
- [32] Zalesov S.V., Bachurina A.V., Bachurina S.V. *Sostoyaniye lesnykh nasazhdeniy, podverzhennykh vliyaniyu promyshlennykh pollyutantov ZAO «Karabashmed», i reaktsiya ih komponentov na provedeniye rubok obnovleniya* [The state of forest plantations affected by industrial pollutants of CJSC «Karabashmed» and the reaction of their components to logging]. Yekaterinburg: UGLTU, 2017, 277 p.

- [33] Kalabin G.V., Titova A.V., Sharov A.V. *Modernizatsiya medeplavil'nogo proizvodstva kombinata ZAO «Karabashmed» i dinamika sostoyaniya prirodnoy sredy v zone ego vliyaniya* [Modernization of the copper smelting plant of CJSC «Karabashmed» and the dynamics of the state of the natural environment in the zone of its influence]. *Marksheyderiya i nedropol'zovanie* [Surveying and Subsoil Use], 2011, no. 3 (53), pp. 65–70.
- [34] Udachin V.N., Williamson B.J., Purvis O.W., Spiro B., Dubbin W., Herrington R.J., Mikhailova I. Assessment of environmental impacts of active smelter operations and abandoned mines in Karabash, Ural Mountains of Russia. *Sust. Devel.*, 2003, v. 11, pp. 1–10. DOI:10.1002/sd.211
- [35] *Metodika organizatsii i provedeniya rabot po monitoringu lesov evropeyskoy chasti Rossii po programme ICP-Forests (metodika EEK OON)* [Methodology for organizing and conducting forest monitoring activities in the European part of Russia under the ICP-Forests program (UNECE methodology)]. Moscow, 1995, 42 p.
- [36] Macdonald A.D., Mothersill D.H. Shoot development in *Betula papyrifera*. 1. Short-shoot organogenesis. *Can J Bot.*, 1983, pp. 3049–3065.
- [37] *Provedenie biohimicheskogo analiza rastitel'nykh obrazcov. Prakticheskie rekomendatsii* [Conducting biochemical analysis of plant samples. Practical recommendations]. Ed. M.I. Kasatkina. Leningrad: LenNIILKh, 1979, 26 p.
- [38] *Metodicheskie ukazaniya po opredeleniyu sery v rasteniyah i kormakh rastitel'nogo proiskhozhdenii* [Methodological guidelines for the determination of sulfur in plants and feeds of plant origin]. Moscow: Rosinformagrotekh, 1999, 8 p.
- [39] Khanina L.G., Bobrovsky M.V., Smirnov V.E., Grozovskaya I.S., Romanov M.S., Lukina N.V., Isaeva L.G. *Funktsional'nye gruppy vidov i mikrogruppirovki lesnogo napochvennogo pokrova dlya modelirovaniya ego dinamiki* [Functional groups of species and microgroups of forest ground cover for modeling its dynamics]. *Matematicheskaya biologiya i bioinformatika* [Mathematical Biology and Bioinformatics], 2015, v. 10, no. 1, pp. 15–33.
- [40] Koroteeva E.V., Veyberg E.I. *Zakonomernosti ekotopicheskogo raspredeleniya sosudistykh rasteniy v impaktnoy zone Medeplavil'nogo kombinata (Karabash, Yuzhnyy Ural)* [Regularities of ecotopic distribution of vascular plants in the impact zone of the Copper smelting plant (Karabash, Southern Urals)]. *Rastitel'nye resursy* [Plant resources], 2019, v. 55, no. 1, pp. 85–101.

The work was carried out under the state assignment of the Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences.

Authors' information

Gorbunova Viktoria Dmitrievna  — Cand. Sci. (Biology), Researcher of the Laboratory of Technogenic Plant Communities of the Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, botgarden.gor@yandex.ru

Menshchikov Sergey Leonidovich — Dr. Sci. (Agriculture), Leading Researcher of the Laboratory of Technogenic Plant Communities of the Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, msl@botgard.uran.ru

Received 07.11.2022.

Approved after review 20.04.2023.

Accepted for publication 18.07.2023.

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

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ГИДРОЛЕСОМЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ В ЛЕСНОМ ФОНДЕ БЕЛАРУСИ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА

А.М. Потапенко^{1✉}, И.А. Машков¹, Н.В. Толкачева¹, А.В. Судник²

¹ГНУ «Институт леса Национальной академии наук Беларуси», Республика Беларусь, 246001, г. Гомель, ул. Пролетарская, д. 71

²ГНУ «Институт экспериментальной ботаники имени В.Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси», Республика Беларусь, 220072, г. Минск, ул. Академическая, д. 27

formelior@tut.by

Представлены результаты инвентаризации осушенных торфяников и обследования гидролесомелиоративных систем, которые были переданы в лесной фонд после прекращения деятельности сельскохозяйственных и промышленных предприятий. Установлено, что в настоящее время большинство гидролесомелиоративных систем в лесном фонде Республики Беларусь находятся в нерабочем состоянии и представляют собой заболоченную и естественно зарастающую древесно-кустарниковой растительностью территорию. Указана проблема в снижении объемов, либо полном прекращении хозяйственной деятельности на территории всего лесомелиоративного фонда Беларуси по обслуживанию гидромелиоративных объектов. Показано, что за период 2008–2018 гг. передано 1550,7 га торфяных участков, выведенных из сельскохозяйственного оборота, и 4444,5 га выработанных торфяных месторождений от промышленных предприятий. Разработаны Стратегия и Схема устойчивого использования земель с измененным гидрологическим режимом в составе лесного фонда Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь.

Ключевые слова: торфяники, гидролесомелиоративная система, деградация, гидрологический режим, лесные насаждения

Ссылка для цитирования: Потапенко А.М., Машков И.А., Толкачева Н.В., Судник А.В. Современное состояние гидролесомелиоративных систем в лесном фонде Беларуси в условиях изменяющегося климата // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 5. С. 179–189. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-5-179-189

В настоящее время в Республике Беларусь площадь осушенных земель, по данным Реестра земельных ресурсов Республики Беларусь [1], составляет 3424,5 тыс. га (16,5 % общей площади страны) (рис. 1). Значительную площадь осушенных земель (2846,1 тыс. га — 83,1 %) занимают сельскохозяйственные предприятия. К лесному фонду относится 324,0 тыс. га (9,5 %) осушенных земель, на остальные мелиорированные земли приходится 254,4 тыс. га (7,4 %) [2].

В Республике Беларусь широко распространены торфяные болота. В начале 1960-х годов они занимали 2939 тыс. га (14,2 %). После крупномасштабного осушения большинство болот было осушено. Наибольшие площади осушенных земель отмечены в Брестской области — 759,3 тыс. га. Несколько меньше площади в Минской — 708,0 тыс. га и Гомельской областях — 656,2 тыс. га.

По состоянию на 01.01.2021 г. общая площадь торфяников в Беларуси составляла около 2,5 млн га (примерно 12 % всей территории), из них 1,66 млн га осушены (66,4 %). В лесном фонде Беларуси имеется 987,1 тыс. га торфяников. Из

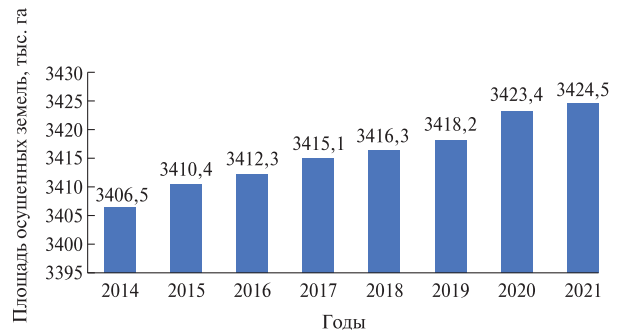


Рис. 1. Динамика площади осушенных земель Республики Беларусь за период с 2014 по 2021 гг.

Fig. 1. Dynamics of the drained lands in the Republic of Belarus for the period from 2014 to 2021

них осушено 304 тыс. га, в том числе переданные после промышленной добычи торфа составляют 14,5 тыс. га. На стадии повторного заболачивания находится 95,4 тыс. га ранее осушенных торфяников [3]. В естественном или близком к естественному состоянию сохранилось 863 тыс. га болот (29,3 % первоначальной площади естественных болот). При этом на многих из них нарушен гидрологический режим.

Под термином «лесоосушительная мелиорация», или «гидролесомелиорация», подразуме-

вается не только непосредственное осушение избыточно увлажненных лесных земель в целях увеличения доступности, продуктивности и хозяйственной ценности находящихся на них насаждений, но и проведение важнейших сопутствующих осушению гидротехнических, дорожных и лесохозяйственных работ.

Площадь деградированных торфяников за период 2000–2020 гг. увеличилась в 1,7 раза — с 190,2 тыс. га в 2000 г. до 325,6 тыс. га к 2020 г. Кроме того, имеется 218 тыс. га выработанных торфяных месторождений, более 80 % которых находится в осушенном состоянии. Еще около 250 тыс. га торфяных болот, осушенных лесомелиоративными системами, признаны недостаточно эффективными и нуждаются в регулировании гидрологического режима [4].

К деградации осушенных торфяных почв в значительной степени приводит изменение климатических условий. В настоящее время изменение климата обостряет проблему эффективного использования осушенных земель не только в Республике Беларусь, но и в других странах [5–8]. Некоторые авторы [9–11] считают, что крупномасштабные осушительные мелиорации, проведенные в Беларуси, и изменение климата вызвали определенную трансформацию природной среды Полесского региона, что привело к изменению границ агроклиматических областей: Северная агроклиматическая область распалась, а на юге Полесья образовалась новая, более теплая агроклиматическая область, характеризующаяся самой короткой и теплой в пределах Беларуси зимой и наиболее продолжительным и теплым вегетационным периодом.

Климатические изменения, происходящие за 2000–2020 гг. в Беларуси, оказывают значительное отрицательное влияние на эффективность ведения лесного хозяйства. Для леса наиболее опасными являются засухи и связанные с ними пожары. По состоянию на 2019 г. пожарами было охвачено 7,3 тыс. га лесных территорий, в 2020 г. — 6,7 тыс. га, в 2021 г. — 0,5 тыс. га.

В результате изменения климата отмечается повышение температуры воздуха в зимний период, а также понижение уровня грунтовых вод, сокращение объемов испаряющейся влаги и уменьшение количества выпадающих осадков — все это обуславливает ухудшение санитарного состояния лесных насаждений и снижение их продуктивности. Спровоцированные потеплением климата вспышки размножения стволовых вредителей леса привели к усыханию и вырубке сплошными санитарными рубками за 2016–2020 гг. 77,1 тыс. га сосновых лесов республики. Летние паводки и подтопления, буреломы и ветровалы также оказывают существенное влияние на

состояние лесов в различных регионах Беларуси. Сплошными санитарными рубками было вырублено 35,6 тыс. га буреломных и ветровальных насаждений [12].

Известно, что на земном шаре за последние 100 лет средняя температура увеличилась на 0,74 °С. В то же время в Беларуси с начала 1980-х годов каждые 10 лет повышение температуры составляло 0,5 °С, а за 1990–2020 гг. она повысилась на 1,3 °С, причем со скоростью в 3 раза больше, чем на планете в целом, в том числе по Гомельской области — на 1,4 °С [13, 14]. При этом годовое количество осадков существенно не изменилось, а по Гомельской области в вегетационный период оказалось ниже климатической нормы.

В зоне риска находятся Гомельская область и восточные территории Брестской и Могилевской областей. В Гомельской области за 2015–2020 гг. среднегодовое количество осадков было ниже климатической нормы: в 2015 г. на 20 %, в 2018 — на 15, в 2019 — на 23 %, и в аномально теплом 2020 г. — на 15 % (рис. 2).

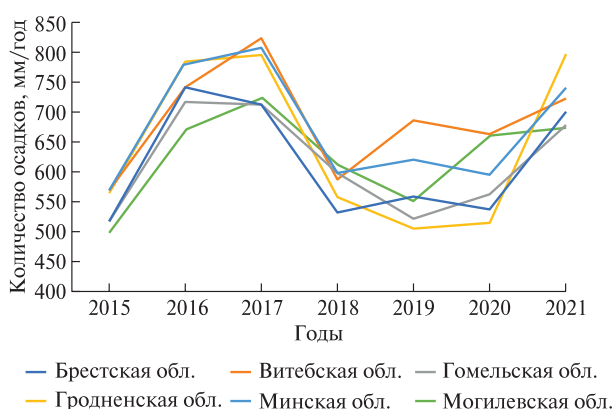


Рис. 2. Среднегодовое количество осадков в Республике Беларусь по областям

Fig. 2. Average annual precipitation in the Republic of Belarus by regions

В условиях интенсивного потепления увеличивается влагоемкость атмосферы и иссушается пахотный слой почвы, происходит снижение уровня воды в реках, снижается на 1,0...1,5 м уровень грунтовых вод. Ухудшение состояния гидролесомелиоративных систем способствует изменению гидрологического режима территории, что в свою очередь влечет за собой снижение биологической устойчивости лесных насаждений в результате их усыхания и повреждения стволовыми вредителями и болезнями [15, 16]. В настоящее время состояние осушительной сети в большинстве случаев является неудовлетворительным. Остро стоит вопрос эффективного использования этих систем, исходя из экономической и экологической целесообразности.

Таким образом, проведение исследований гидролесомелиоративных систем и осушенных торфяников, переданных в лесной фонд, является одним из актуальных направлений по оптимизации использования лесных земель.

Цель работы

Цель работы — инвентаризация осушенных торфяников и обследование гидролесомелиоративных систем, которые были переданы в лесной фонд после прекращения деятельности сельскохозяйственных и промышленных предприятий.

Объекты и методы исследования

Объектами исследований служили мелиорированные земли в составе лесного фонда Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь, включая осушенные участки торфяных месторождений, переданные в лесхозы от сельскохозяйственных и промышленных предприятий.

Научно-исследовательские работы заключались в проведении полевых обследований осушенных торфяников, переданных в лесной фонд. Осмотру и инвентаризации подлежали участки торфяников совместно с находящейся на них гидромелиоративной сетью.

Состояние мелиоративной сети оценивалось по степени заиленности каналов, степени их зарастания, неисправности отдельных гидротехнических объектов, возможности восстановления сети и постановки ее на учет.

В процессе исследований определяли направления хозяйственного использования переданных торфяных участков с учетом остаточной глубины торфяной залежи, состава торфа, уровня грунтовых вод и т. д.

На основании полученной информации и проведенных согласований участков торфяников с лесхозами и землеустроительной службой районов, в которых они находятся, была разработана база данных. Проведение полевых исследований и обработка полевых материалов осуществлялась по общепринятым методикам [17, 18].

По результатам проведенных исследований подготовлены предложения и рекомендации по направлениям дальнейшего использования переданных мелиорированных торфяных участков.

Результаты и обсуждение

Инвентаризация осушительных систем в лесном фонде выполнена в 1994–1998 гг. Проектно-изыскательским республиканским унитарным предприятием (далее — ПИРУП) «Белгипролес». Данные инвентаризации (по состоянию на 01.01.1998 г.) осушенных земель лесного фонда Минлесхоза Беларуси (далее — Минлесхоз)

Т а б л и ц а 1

Распределение площади осушенных земель в лесном фонде Минлесхоза по годам строительства

Distribution of the drained land in the forest fund of the Ministry of Forestry by year of construction

Годы строительства	Осушенная площадь лесных земель, тыс. га		Общая протяженность осушительной сети, км	Площадь, %
	всего	в том числе по смежеству		
До 1920	29,69	0,20	1194	11,0
1926–1930	–	–	11	–
1931–1940	1,19	–	90	0,5
1951–1960	18,94	1,77	646	7,0
1961–1965	38,73	9,35	1108	14,3
1966–1970	74,18	11,08	2848	27,2
1971–1975	58,01	6,03	2361	21,4
1976–1980	36,02	2,66	1385	13,3
1981–1985	9,19	1,44	360	3,4
1986–1990	3,64	0,75	92	1,3
1991–1995	0,99	0,73	15	0,4
1996	0,52	0,51	2	0,2
Итого	271,10	34,52	10112	100,0

по годам строительства мелиоративных систем представлены в табл. 1.

Общая площадь осушенных земель в лесном фонде Минлесхоза до 1996 г. составляла 271,1 тыс. га (в том числе по смежеству — 34,52 тыс. га). Протяженность осушительной сети составляла 1131 тыс. км, в том числе открытой сети — 166,2 тыс. км, из них на лесных землях — 10,1 тыс. км. По данным инвентаризации, 49,4 % протяженности мелиоративной сети находилось в неудовлетворительном состоянии, 46,1 % — в удовлетворительном и 4,5 % — в хорошем состоянии.

Основными причинами ухудшения состояния лесных осушительных систем является их заиление, зарастание травянистой и древесно-кустарниковой растительностью, перегораживание бобровыми плотинами [19]. Средний срок работы гидролесомелиоративной системы (ГЛМС) составляет не более 30 лет.

Наибольшие площади лесных земель осушены в периоды 1966–1970 гг. и 1971–1975 гг. и составили соответственно — 74,18 и 58,01 тыс. га. По итогам инвентаризации наибольшие площади осушенных земель в лесном фонде зафиксированы на территории Минской (74 760 га или 27,6 % общей мелиорированной площади), Брестской (53 940 га), Витебской (52 570 га) и Гомельской (45 520 га) областей. Площадь мелиорированных земель в Могилевской области составляла 26 990 га, Гродненской области — 17 310 га (рис. 3).

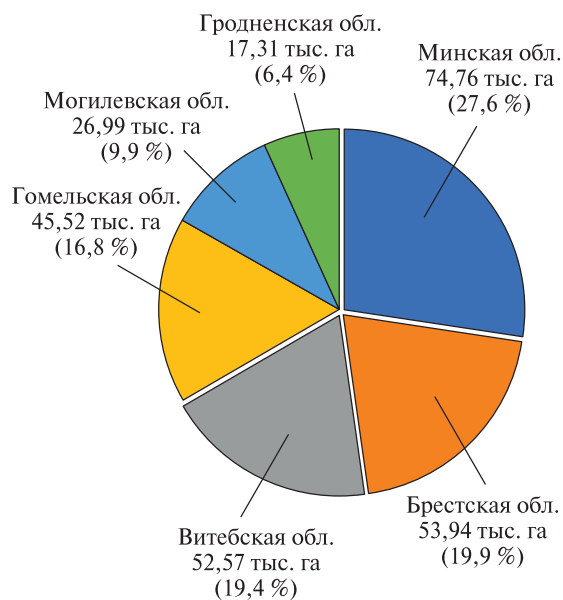


Рис. 3. Распределение осушенных площадей в лесном фонде Минлесхоза по административным областям

Fig. 3. Distribution of drained areas in the forest fund of the Ministry of Forestry by administrative region

На протяжении 2010–2014 гг. в соответствии с постановлением Министерства экономики Республики Беларусь от 30.09.2011 г. № 161 «Об установлении нормативных сроков службы основных средств и признании утратившими силу некоторых постановлений Министерства экономики Республики Беларусь» лесхозами списано гидролесомелиоративных систем на общей площади 79,27 тыс. га, которые в экономическом и экологическом отношении определены как неэффективные.

В период 2018–2020 гг. Государственным научным учреждением «Институт экспериментальной ботаники имени В.Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси», совместно с Государственным научным учреждением «Институт леса Национальной академии наук Беларуси» (далее — Институт леса НАН Беларуси), в рамках Проекта международной технической помощи Программы развития Организации Объединенных Наций (ПРООН) — Глобального экологического фонда (ГЭФ) № 96096 «Устойчивое управление лесными и водно-болотными экосистемами для достижения многоцелевых преимуществ» выполнен анализ эффективности использования ГЛМС в лесном фонде Беларуси. Установлено, что в целом состояние ГЛМС можно охарактеризовать как неудовлетворительное, при этом основная часть гидролесомелиоративной сети находится в неудовлетворительном состоянии и не выполняет своих функций. На некоторых объектах ГЛМС встречаются как сухие каналы с задержанием, заросшие древесно-кустарниковой растительностью и разрушенными откосами, так и топкие (с заиле-

нием на глубине более 50 см и обводненные выше уровня откосов). Основными причинами неудовлетворительного состояния осушительной сети являются деформация каналов, заиливание и завал каналов деревьями, размыв откосов поверхностными водами, зарастание откосов травянистой, древесной и кустарниковой растительностью.

Научно-исследовательские работы проводились на территории 102 лесхозов. Обследовано 927 участков лесного фонда с нарушенным гидрологическим режимом общей площадью 456,0 тыс. га и разработаны рекомендации по направлениям дальнейшего их использования (табл. 2).

Рекомендации сгруппированы в три основные категории: 1) экологическая реабилитация путем повторного заболачивания; 2) восстановление осушительных систем для поддержания их эффективности и повышения продуктивности лесов; 3) оставление без изменений, где сформировались лесные насаждения в данных гидрологических условиях [21, 22].

Экологическая реабилитация путем повторного заболачивания осуществляется поднятием воды до уровня поверхности почвы с восстановлением типичного для болот водного режима, растительного покрова и процесса торфообразования.

Восстановление осушительных систем для поддержания их эффективности и повышения продуктивности лесов осуществляется на землях с измененным гидрологическим режимом, где в результате осушения достигнут положительный эффект и отмечено увеличение прироста у произрастающих насаждений. В результате мелиорации на таких участках произошла трансформация лесоболотного комплекса в сторону более сухих типов леса (например, участки папоротниковой и крапивной серий типов леса перешли в кисличные и снытевые; долгомошные — в черничные, местами даже кисличные). Оптимальным для таких участков является поддержание сложившегося режима ведения лесного хозяйства, однако повышенный уровень воды в части каналов, в том числе из-за деятельности бобров, способствовал подтоплению части прилегающих насаждений. В связи с этим для таких территорий рекомендуется восстановление мелиоративной сети.

Оставление без изменений рекомендовано для всех остальных земель лесного фонда с измененным гидрологическим режимом. При этом учитывались следующие факторы:

- территории затоплены в результате повторного заболачивания;
- подъем уровня грунтовых вод до уровня поверхности почвы или выше;
- сукцессии, направленные на формирование водно-болотных угодий.

Т а б л и ц а 2

**Результаты инвентаризации земель с нарушенным гидрологическим режимом
на территории лесного фонда Минлесхоза, тыс. га**

**Results of inventory of lands with disturbed hydrological regime on the territory
of the forest fund of the Ministry of Forestry, thousand hectares**

Область	Общая площадь	Особенности при назначении рекомендаций		Рекомендации по использованию осушительной сети				
		Высокий уровень грунтовых вод	Расположены на особо охраняемых природных территориях	Восстановление в рабочем состоянии	Повторное заболачивание	В перечне* постановления Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды от 17.09.2020 № 18	Оставить без изменений	В т. ч. подлежит списанию
Брестская	75,4	38,1	34,0	–	1,9	12,0	73,5	9,4
Витебская, учебно-опытный лесхоз филиала БГТУ	110,0	46,9	26,7	9,0	19,6	6,8	81,4	7,1
Гомельская	42,8	20,7	3,5	1,2	5,5	14,9	36,1	0,7
Гродненская	35,1	20,0	11,7	0,5	10,9	12,6	23,7	0,2
Минская, ГЛХУ «Красносельское», Негорельский учебно-опытный лесхоз	164,3	45,4	45,8	9,0	23,8	37,6	131,5	16,3
Могилевская	28,3	14,2	3,1	1,6	3,9	12,9	22,8	–
Итого в лесном фонде Минлесхоза	456,0	185,3	124,9	21,3	65,6	96,9	369,1	33,8

*Постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 17.09.2020 г. № 18 «Об установлении перечней болот и торфяников» [19] установлен перечень болот, для которых разрабатываются планы управления болотами и перечни торфяников, подлежащих экологической реабилитации (во исполнение п. 2 ст. 17 и п. 2 ст. 35 Закона Республики Беларусь от 18 декабря 2019 г. № 272-3 «Об охране и использовании торфяников» [20]).

Общая площадь земель с нарушенным гидрологическим режимом (уровень грунтовых вод на поверхности почвы или выше) составила 185,3 тыс. га (50,2 % оставленных без изменения земель или 40,6 % обследованных земель с измененным гидрологическим режимом) (рис. 4).

Общая площадь земель с нарушенным гидрологическим режимом, для которых рекомендован контроль за численностью бобров, составила 25,6 тыс. га.

В целом площадь земель с измененным гидрологическим режимом, которые рекомендуются оставлять без изменений, составила 369,1 га (81 %) (см. табл. 2), в том числе по областям: Брестской — 73 506,0 га (97,5 %); Витебской — 81 439 га (74,0 %); Гомельской — 36 105,0 га (84,3 %); Гродненской — 23 741 га (67,6 %); Минской — 131 526 га (80,0 %); Могилевской — 22 794 га (80,6 %).

В лесном фонде Гомельской области по состоянию на 01.01.1998 г. площадь осушенных земель составила 45,5 тыс. га (19,2 % общей площади осушенных земель в системе Минлесхоза). Площадь мелиорированных земель на территории

Гомельской области на начало 2020 г. составляла 650 тыс. га. На протяжении 2009–2015 гг. деградировало и переведено в другие виды пользования 24 тыс. га мелиорированных торфяников.

Инвентаризация гидроресомелиоративных систем проведена Институтом леса НАН Беларуси в 2018–2019 гг. на территории 21 лесхоза (142 мелиоративных объекта общей площадью 42,8 тыс. га). Таким образом, в Гомельской области площадь мелиоративных объектов, предназначенных для осушения, составляла 9,3 % общей площади лесов. При проведении инвентаризации мелиоративных сетей установлено, что 90...95 % каналов находилось в неудовлетворительном состоянии и не выполняло своих функций.

Уровень грунтовых вод на 21 обследованном объекте (10,2 тыс. га — 23,8 %) на момент инвентаризации (сентябрь — ноябрь 2019 г.) был выше поверхности почвы и зафиксировано интенсивное заболачивание. На 61 объекте (16,6 тыс. га — 38,8 %) отмечен достаточно высокий уровень грунтовых вод — от 0,5 до 0 м, на 37 объектах (9,1 тыс. га — 21,3 %) — 1,0...0,6 м, на 23 объектах (6,9 тыс. га — 16,1 %) грунтовые воды распо-

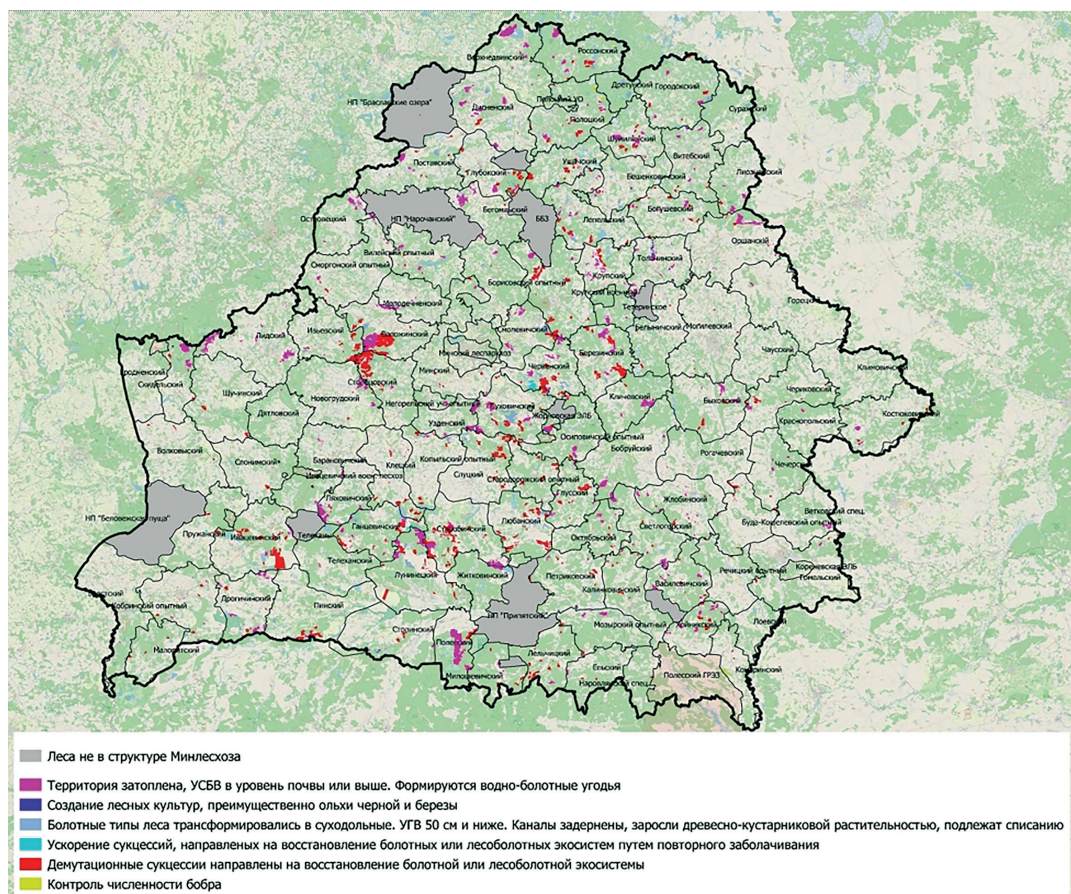


Рис. 4. Карта-схема оставленных без изменения земель лесного фонда с измененным гидрологическим режимом и предложения по их дальнейшему использованию

Fig. 4. Schematic map of forest lands left unchanged with altered hydrological regime and proposals for their further use

лагались глубже 1,0 м — это бывшие торфоразработки на верховых и переходных торфах, при осушении которых уровень грунтовых вод был понижен настолько, что гибла типичная для этих условий произрастающая растительность. Такие объекты выявлены в Василевичском, Калинковичском, Комаринском, Лельчицком, Хойникском, Наровлянском лесхозах.

В процессе инвентаризации гидролесомелиоративных систем установлено, что лесопокрываемая площадь исследуемых объектов составляла 29,3 тыс. га (68,5 % их общей площади). Площадь устойчивых насаждений с высоким ($2,5 \dots 3,5 \text{ м}^3/\text{га}$) ежегодным приростом составила 12,4 тыс. га, в том числе на лесных землях — 0,5 тыс. га, землях бывшего сельскохозяйственного пользования — 4,1 тыс. га, бывших торфоплощадках — 3,7 тыс. га. На лесных землях преобладали сосновые и березовые насаждения III–V классов возраста. На бывших сельскохозяйственных землях и торфоплощадках произрастали в основном березовые 20...50-летние древостои.

Лесные насаждения, в основном березовые древостои, на площади 16,9 тыс. га вследствие

развития процессов заболачивания потеряли биологическую устойчивость и находились в угнетенном состоянии с ежегодным приростом $0,5 \dots 1,5 \text{ м}^3/\text{га}$ или погибли.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о том, что состояние гидролесомелиоративных систем на территории исследуемых лесхозов можно охарактеризовать как неудовлетворительное, причем для основной части гидролесомелиоративной сети, и не выполняющее свои функции. Некоторые объекты ГЛИМС имели сухие каналы с задернением, заросшие древесно-кустарниковой растительностью, и разрушенными откосами и топкие (с заилением более 50 см и обводненные выше уровня бровки). Основная причина неудовлетворительного состояния осушительной сети заключается в отсутствии проведения технических уходов (рис. 5).

Длительное отсутствие надлежащего технического обслуживания осушительной сети привело к деформации каналов, заилению и завалу каналов деревьями, размыву откосов поверхностными водами, зарастанию откосов травянистой, древесной и кустарниковой растительностью.



Рис. 5. Мелиоративный канал в лесном фонде при отсутствии технических уходов: *а* — заросший мелиоративный канал; *б* — заиленный откос
Fig. 5. Reclamation canal in the forest fund in the absence of technical maintenance: *a* — overgrown reclamation canal; *b* — silted slope

Заиление осушителей и магистрального канала, а также бобровые плотины часто являются причинами вторичного заболачивания, в результате чего отмечается увеличение площади лесных территорий с резким подъемом уровня грунтовых вод, которые сопровождаются гибелью лесов.

Выводы

По результатам проведенных исследований, Институтом леса НАН Беларуси были разработаны и реализуются на практике Правила эксплуатации (обслуживания) мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений, определяющие порядок эксплуатации (обслуживания) мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений [23]. Эксплуатация систем и сооружений осуществляется пользователями мелиоративных систем и организациями по их строительству и эксплуатации. Правила предназначены для поддержания мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений в технически исправном работоспособном состоянии на территории лесного фонда.

Разработаны Стратегия устойчивого использования земель с измененным гидрологическим режимом в составе лесного фонда Минлесхоза и Схема устойчивого использования земель с измененным гидрологическим режимом в лесном фонде Минлесхоза [24, 25], которые можно использовать для совершенствования технологии экологической реабилитации нарушенных торфяников, принятия проектных, управленческих и

директивных решений в области регулирования водного режима болот, восстановления и сохранения их естественного биологического и ландшафтного разнообразия и ведения устойчивого экологически ориентированного лесного хозяйства на осушенных землях.


Достижение результатов Стратегии будет обеспечено путем реализации предложенных для каждой обследованной мелиоративной системы рекомендаций. Методология реализации рекомендаций должна соответствовать требованиям, определенным Законом Республики Беларусь от 18.12.2019 № 272-3 «Об охране и использовании торфяников» [20] и техническим кодексом установившейся практики ТКП 17.12-01-2008 (02120) «Охрана окружающей среды и природопользование. Территории. Правила и порядок определения и изменения направлений использования выработанных торфяных месторождений и других нарушенных болот» [24].

Список литературы

- [1] Реестр земельных ресурсов Республики Беларусь (по состоянию на 1 января 2021 года) // http://gki.gov.by/ru/activity_branches-land-reestr/ (дата обращения 15.08.2021).
- [2] Государственный лесной кадастр Республики Беларусь по состоянию на 01.01.2020. Минск: Изд-во Минлесхоза, Лесоустроительного республиканского унитарного предприятия «Белгослес», 2020. 65 с.
- [3] Булко Н.И., Машков И.А., Толкачева Н.В., Москаленко Н.В. Состояние лесомелиоративных систем в лесном фонде Беларуси и будущее мелиорированных лесов //

- Мелиорация. Современные методики, инновации и опыт практического применения: Материалы Международ. науч.-практ. конф., Минск, 19–20 окт. 2017 г. Минск: Беларус. навука, 2017. 193 с.
- [4] Глобальная оценка лесных ресурсов 2010 года. Основной отчет. Документ ФАО по лесному хозяйству. Рим: Изд-во Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН, 2011. Т. XXXI. 344 с.
- [5] Стратегия по реализации Конвенции Организации Объединенных Наций по борьбе с опустыниванием в тех странах, которые испытывают серьезную засуху и/или опустынивание, особенно в Африке. Утверждена Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 29 апреля 2015 г., № 361. Минск: б. и., 2015. 55 с.
- [6] Тараканов А.М. Рост осушаемых лесов и ведение хозяйства в них. Архангельск: Изд-во СевНИИЛХ, 2004. 228 с.
- [7] Stojadinović Đ., Cvetković T. Impact of the quality of groundwater and surface water on the conservation of the forest belt in the Danube riparian area // Eurasian Forests — Serbian Forests: Materials of the XVIII Int. Conf. of Young Scientists, dedicated to the academician Prof. Žarko Miletić (1891–1968). Belgrade: University of Belgrade Faculty of Forestry, 2019, pp. 264–266.
- [8] Пономарева Т.И. Влияние лесосушения на лесорастительные условия сосняков кустарничково-сфагновых северотаежного района Архангельской области: дис. ... канд. с.-х. наук. Архангельск, 2022. 187 с.
- [9] Гурский Б.Н., Вагнер Н.М., Польский С.А. История и современное состояние географического изучения Беларуси. Минск: Наука и техника, 1988. 152 с.
- [10] Логинов В.Ф., Струк М.И. Экологические проблемы регионального развития Беларуси // Известия Российской академии наук. Серия географическая, 2009. № 3. С. 24–36.
- [11] Семаков В.В., Стрелков А.З., Мельник П.Г. Лесоводственная экскурсия в Беловежскую Пущу. М.: МГУЛ, 2004. 72 с.
- [12] Бородин А. Экосистемы, которые мы теряем: болота. URL: <https://wildlife.by/ecology/articles/ekosistemy-kotorye-my-teryaem-bolota/> (дата обращения 15.08.2021).
- [13] Белгидромет: за последние 30 лет в стране потеплело на 1,3 градуса, тенденция сохранится и впредь. URL: <https://www.sb.by/articles/belgidromet-za-poslednie-30-let-v-strane-poteplo-na-1-3-gradusa-tendentsiya-sokhranitsya-i-vpred.html>. (дата обращения 24.03.2022).
- [14] Подгорная Е.В., Мельник В.И., Комаровская Е.В. Особенности изменения климата на территории республики Беларусь за последние десятилетия // Труды гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации, 2015. № 358. С. 111–120.
- [15] Кудряшев А.В. Формирование высокопродуктивных хвойных древостоев на оптимально осушенных торфяных почвах: автореф. дис. канд. с.-х. наук. СПб.: Изд-во СПбНИИЛХ; СПбГЛТА, 2003. 27 с.
- [16] Соболев А.А., Шипинская У.С. Оценка численности популяции вершинного кородея и связанной с ней угрозы ослабления сосновых насаждений Центральной России // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 6. С. 89–97. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-6-89-97
- [17] Пугачевский А.В., Степанович И.М., Вознячук И.П. Методика проведения мониторинга растительного мира в составе Национальной системы мониторинга окружающей среды Республики Беларусь / под ред. А.В. Пугачевского. Минск: Право и экономика, 2011. 165 с.
- [18] Сцепановіч І.М., Сцепановіч А.Ф. Навукова-метадычныя асновы маніторынгу лугавой і лугава-балотнай расліннасці Беларусі. Мінск: Беларус. навука, 2013. 289 с.
- [19] Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 17.09.2020 г. № 18 «Об установлении перечней болот и торфяников». URL: https://pravo.by/upload/docs/op/W22035886_1601326800.pdf (дата обращения 01.02.2023).
- [20] Закон Республики Беларусь от 18.12.2019 № 272-3 «Об охране и использовании торфяников». URL: https://pravo.by/upload/docs/op/H11900272_1577394000.pdf (дата обращения 01.02.2023).
- [21] Судник А.В., Терещенко С.С., Степанович И.М., Голушко Р.М. Динамика растительности и баланс парниковых газов, по данным мониторинга экосистем восстанавливаемых торфяных болот, после проведения мероприятий по их ренатурализации // Леса Евразии — Леса Поволжья: Материалы XVII Междунар. конф. молодых ученых, посвященной 150-летию со дня рождения проф. Г.Ф. Морозова, 95-летию Казанского государственного аграрного университета и Году экологии в России, Казань, 22–28 октября 2017 г. М.: Маска, 2017. С. 229–232.
- [22] Судник А.В., Булко Н.И., Толкачева Н.В., Потапенко А.М., Степанович И.М., Комар А.Ю., Голушко Р.М. и др. О стратегии и схеме устойчивого использования земель с измененным гидрологическим режимом в лесном фонде Республики Беларусь // Природные ресурсы, 2022. № 2. С. 75–86.
- [23] Правила эксплуатации (обслуживания) мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений. Утверждены Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 10.07.2009, № 920. Минск: б. и., 2009. 55 с.
- [24] ТКП 17.12-02-2008 «Охрана окружающей среды и природопользование. Территории. Порядок и правила проведения работ по экологической реабилитации выработанных торфяных месторождений и других нарушенных болот и предотвращению нарушений гидрологического режима естественных экологических систем при проведении мелиоративных работ». Минск: б. и., 2008. 21 с.
- [25] Судник А.В., Степанович И.М., Толкачева Н.В., Голушко Р.М., Потапенко А.М., Комар А.Ю., Машков И.А. и др. Результаты экологической оценки мелиоративных систем в лесном фонде Беларуси и предложения по их использованию // Ботаника (исследования): Сб. науч. тр. Вып. 50. Минск: Колорград, 2021. С. 231–247.

Сведения об авторах

Потапенко Антон Михайлович  — канд. с.-х. наук, зав. лабораторией, ГНУ «Институт леса Национальной академии наук Беларуси, formelior@tut.by

Машков Игорь Алексеевич — канд. с.-х. наук, ст. науч. сотр. лаборатории, ГНУ «Институт леса Национальной академии наук Беларуси», formelior@tut.by

Толкачева Наталья Васильевна — канд. с.-х. наук, ст. науч. сотр. лаборатории, ГНУ «Институт леса Национальной академии наук Беларуси», formelior@tut.by


Судник Александр Владимирович — канд. биол. наук, доцент, заведующий лабораторией оптимизации и мониторинга экосистем, ГНУ «Институт экспериментальной ботаники имени В.Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси», asudnik@tut.by

Поступила в редакцию 10.03.2023.

Одобрено после рецензирования 19.06.2023.

Принята к публикации 21.07.2023.

CURRENT STATE OF HYDROFOREST AMELIORATIVE SYSTEMS IN FOREST FUND OF BELARUS UNDER CHANGING CLIMATE CONDITIONS

A.M. Potapenko¹ , I.A. Mashkov¹, N.V. Tolkacheva¹, A.V. Sudnik²

¹Forest Institute of the National Academy of Sciences of Belarus, 71, Proletarskaya st., 246001, Gomel, Republic of Belarus

²V.F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus, 27, Akademicheskaya st., 220072, Minsk, Republic of Belarus

formelior@tut.by

The paper presents the results of inventory of drained peatlands and survey of hydroforest-reclamation systems that were transferred to the forest fund after the termination of agricultural and industrial enterprises. It has been established that currently the majority of hydro-forest-reclamation systems in the forest fund of the Republic of Belarus are inoperative and represent swampy and naturally overgrown territory with trees and shrub vegetation. The problem is indicated in reduction of volumes or complete cessation of economic activity on the territory of the entire forest ameliorative fund of Belarus on maintenance of hydromeliorative objects. It is shown that for the period of 2008–2018, 1550,7 ha of peat areas withdrawn from agricultural turnover and 4444,5 ha of depleted peat areas from industrial enterprises were transferred. The Strategy and Scheme of sustainable use of lands with altered hydrological regime within the forest fund of the Ministry of Forestry of the Republic of Belarus were developed.

Keywords: peatlands, forest hydro ameliorative systems, degradation, hydrological regime, forest plantations

Suggested citation: Potapenko A.M., Mashkov I.A., Tolkacheva N.V., Sudnik A.V. *Sovremennoe sostoyanie gidrolesomeliorativnykh sistem v lesnom fonde Belarusi v usloviyakh izmenyayushchegosya klimata* [Current state of hydroforest ameliorative systems in forest fund of Belarus under changing climate conditions]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2023, vol. 27, no. 5, pp. 179–189. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-5-179-189

References

- [1] *Reestr zemel'nykh resursov Respubliki Belarus' (po sostoyaniyu na 1 yanvarya 2021 goda)* [Register of land resources of the Republic of Belarus (as of January 1, 2021)]. Available at: http://gki.gov.by/ru/activity_branches-land-reestr/ (accessed 15.08.2021).
- [2] *Gosudarstvennyy lesnoy kadastr Respubliki Belarus' po sostoyaniyu na 01.01.2020* [State Forest Cadastre of the Republic of Belarus as of 01/01/2020]. Minsk: Minleskhoz, Lesoustroitel'noe respublikanskoe unitarnoe predpriyatie «Belgosles», 2020, 65 p.
- [3] Bulko N.I., Mashkov I.A., Tolkacheva N.V., Moskalenko N.V. *Sostoyanie lesomeliorativnykh sistem v lesnom fonde Belarusi i budushchee meliorirovannykh lesov* [The state of forest reclamation systems in the forest fund of Belarus and the future of reclaimed forests]. *Melioratsiya. Sovremennyye metodiki, innovatsii i opyt prakticheskogo primeneniya: Materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. [Melioration. Modern methods, innovations and experience of practical application: materials of the Intern. scientific-practical. conf., Nat. acad. Sciences of Belarus, Institute of Land Melioration]*. Minsk: Belarusian Science, 2017, 193 p.
- [4] *Global'naya otsenka lesnykh resursov 2010 goda. Osnovnoy otchet. Dokument FAO po lesnomu khozyaystvu* [Global Forest Resources Assessment 2010. Main report. FAO Forestry Paper]. Rome: Food and agricultural. org. UN, v. XXXI, 2011, 344 p.

- [5] *Strategiya po realizatsii Konventsii Organizatsii Ob'edinennykh Natsiy po bor'be s opustynivaniem v tekhnicheskikh stranakh, kotorye ispytyvayut ser'eznyy zasukhu i/ili opustynivanie, osobenno v Afrike* [Strategy for the implementation of the United Nations Convention to Combat Desertification in those countries experiencing severe drought and/or desertification, especially in Africa]. Minsk, approved by the Resolution of the Council of Ministers of the Republic of Belarus on April 29, no. 361. Minsk: b. i., 2015, 11 p.
- [6] Tarakanov A.M. *Rost osushaemykh lesov i vedenie khozyaystva v nikh* [Growth and Management of Drained Forests]. Arkhangelsk: NRIF, 2004, 238 p.
- [7] Stojadinović Đ., Cvetković T. Impact of the quality of groundwater and surface water on the conservation of the forest belt in the Danube riparian area Eurasian Forests — Serbian Forests: Materials of the XVIII Int. Conf. of Young Scientists, dedicated to the academician Prof. Žarko Miletić (1891–1968). Belgrade: University of Belgrade Faculty of Forestry, 2019, pp. 264–266.
- [8] Ponomareva T.I. *Vliyanie lesoosusheniya na lesorastitel'nye usloviya sosnyakov kustarnichkovo-sfagnovykh severotaezhnogo rayona Arkhangel'skoy oblasti* [The influence of deforestation on the forest-growing conditions of shrub-sphagnum pine forests of the North Taiga district of the Arkhangelsk region]. Diss. Cand. Sci. (Agric.). Arkhangelsk, 2022, 187 p.
- [9] Gurskiy B.N., Vagner N.M., Pol'skiy S.A. *Istoriya i sovremennoe sostoyanie geograficheskogo izucheniya Belarusi* [History and current state of the geographical study of Belarus]. Minsk: Nauka i tekhnika, 1988, 152 p.
- [10] Loginov V.F., Struk M.I. *Ekologicheskie problemy regional'nogo razvitiya Belarusi* [Environmental problems of regional development of Belarus]. Moscow: News of the Russian Academy of Sciences. Geographic series, no. 3, 2009, pp. 24–36.
- [11] Semakov V.V., Strelkov A.Z., Mel'nik P.G. *Lesovodstvennaya ekskursiya v Belovezhskuyu Pushchu* [Forestry excursion to Belovezhskaya Puscha]. Moscow: MSFU, 2004, 72 p.
- [12] Borodin A. *Ekosistemy, kotorye my teryaem: bolota* [Ecosystems we are losing: swamps]. Available at: <https://wildlife.by/ecology/articles/ekosistemy-kotorye-my-teryuem-bolota/> (accessed 15.08.2021).
- [13] *Belgidromet: za poslednie 30 let v strane poteplo na 1,3 gradusa, tendentsiya sokhranitsya i vpred'* [Belhydromet: over the past 30 years, the country has warmed by 1.3 degrees, the trend will continue in the future]. Available at: <https://www.sb.by/articles/belgidromet-za-poslednie-30-let-v-strane-poteplo-na-1-3-gradusa-tendentsiya-sokhranitsya-i-vpred.html/> (accessed 24.03.2022).
- [14] Podgornaya E.V., Mel'nik V.I., Komarovskaya E.V. *Osobennosti izmeneniya klimata na territorii respubliki Belarus' za poslednie desyatletiya* [Features of climate change on the territory of the Republic of Belarus over the past decades]. Proceedings of the Hydrometeorological Research Center of the Russian Federation, no. 358, 2015, pp. 111–120.
- [15] Kudryashev A.V. *Formirovanie vysokoproduktivnykh khvoynykh drevostoev na optimal'no osushennykh torfyanykh pochvakh* [Formation of highly productive coniferous forest stands on optimally drained peat soils.]. Diss. Dr. Sci. (Agric.). St. Petersburg, SPbNIIKKh, SPbGLTA, 2003, 27 p.
- [16] Sobolev A.A., Shipinskaya U.S. *Otsenka chislennosti populyatsii vershinnogo koroeda i svyazannoy s ney ugrozy oslableniya sosnyykh nasazhdeniy Tsentral'noy Rossii* [Ipid bark beetle population assessment and threats to weaken pine stands in Central Russia]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 6, pp. 89–97. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-6-89-97
- [17] Pugachevskiy A.V., Stepanovich I.M., Voznyachuk I.P. *Metodika provedeniya monitoringa rastitel'nogo mira v sostave Nacional'noy sistemy monitoringa okruzhayushchey sredy Respubliki Belarus'* [Methodology for monitoring the flora as part of the National Environmental Monitoring System of the Republic of Belarus]. Minsk: Law and Economics, 2011, 165 p.
- [18] Stepanovich I.M., Stepanovich A.F. *Navukova-metadychnyya osnovy manitoryngu lugavoy i lugava-balotnay raslinnastsi Belarusi* [Scientific and methodical bases of monitoring meadow and meadow-swamp vegetation of Belarus]. Minsk: Belarusian Science, 2013, 289 p.
- [19] *Postanovlenie Ministerstva prirodnykh resursov i okhrany okruzhayushchey sredy Respubliki Belarus' ot 17.09.2020 g. № 18 «Ob ustanovlenii perechnykh bolot i torfyanikov»* [Decree of the Ministry of Natural Resources and Environmental Protection of the Republic of Belarus dated September 17, 2020 No. 18 On the establishment of lists of swamps and peatlands] Available at: https://pravo.by/upload/docs/op/W22035886_1601326800.pdf/ (accessed 01.02.2023).
- [20] *Zakon Respubliki Belarus' ot 18.12.2019 № 272-Z «Ob okhrane i ispol'zovanii torfyanikov»* [Law of the Republic of Belarus dated December 18, 2019 No. 272-3 On the protection and use of peatlands] Available at: https://pravo.by/upload/docs/op/H11900272_1577394000.pdf/ (accessed 01.02.2023).
- [21] Sudnik A.V., Tereshchenko S.S., Stepanovich I.M., Golushko R.M. *Dinamika rastitel'nosti i balans parnikovyykh gazov, po dannym monitoringa ekosistem vosstanavlivaemykh torfyanykh bolot, posle provedeniya meropriyatiy po ikh renaturalizatsii* [Vegetation dynamics and greenhouse gas balance, according to ecosystem monitoring data of restored peat bogs, after carrying out measures for their renaturalization]. *Lesa Evrazii — Lesa Povolzh'ya: Materialy XVII Mezhdunar. konf. molodykh uchenykh, posvyashchennoy 150-letiyu so dnya rozhdeniya prof. G.F. Morozova, 95-letiyu Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta i Godu ekologii v Rossii* [Forests of Eurasia — Forests of the Volga region: Proceedings of the XVII Intern. conf. young scientists, dedicated to the 150th anniversary of the birth of prof. G.F. Morozov, on the 95th anniversary of Kazan State Agrarian University and the Year of Ecology in Russia]. Kazan, October 22–28, 2017. Moscow: Maska, 2017, pp. 229–232.
- [22] Sudnik A.V., Bulko N.I., Tolkacheva N.V., Potapenko A.M., Stepanovich I.M., Komar A.Yu., Golushko R.M. et al. *O strategii i skheme ustoychivogo ispol'zovaniya zemel' s izmenennym gidrologicheskim rezhimom v lesnom fonde Respubliki Belarus'* [On the strategy and scheme for the sustainable use of lands with a changed hydrological regime in the forest fund of the Republic of Belarus]. *Prirodnye resursy* [Natural resources], 2022, no. 2, pp. 75–86.
- [23] *Pravila ekspluatatsii (obsluzhivaniya) meliorativnykh sistem i otdel'no raspolozhennykh gidrotekhnicheskikh sooruzheniy. Utv. Postanovleniem Soveta Ministrov Respubliki Belarus' ot 10.07.2009, № 920* [Rules for the operation (maintenance) of ameliorative systems and separately located hydraulic structures. Approved by Resolution of the Council of Ministers of the Republic of Belarus no. 920 dated 7 October 2009]. Minsk, 2009, 55 p.

- [24] ТКР 17.12-02-2008 «*Okhrana okruzhayushchey sredy i prirodopol'zovanie. Territorii. Poryadok i pravila provedeniya rabot po ekologicheskoy reabilitatsii vyrabotannykh torfyanykh mestorozhdeniy i drugikh narushennykh bolot i predotvrashcheniyu narusheniy gidrologicheskogo rezhima estestvennykh ekologicheskikh sistem pri provedenii meliorativnykh rabot*» [Environmental protection and nature management. Territories. The procedure and rules for carrying out work on the ecological rehabilitation of depleted peat deposits and other disturbed bogs and the prevention of violations of the hydrological regime of natural ecological systems during reclamation work]. Minsk, 2008, 21 p.
- [25] Sudnik A. V., Stepanovich I. M., Tolkacheva N. V., Golushko R. M., Potapenko A. M., Komar A. Yu., Mashkov I. A. et al. *Rezultaty ekologicheskoy otsenki meliorativnykh sistem v lesnom fonde Belarusi i predlozheniya po ikh ispol'zovaniyu* [Results of the environmental assessment of reclamation systems in the forest fund of Belarus and proposals for their use]. *Botanika (issledovaniya): Sb. nauchnykh trudov. Vyp. 50.* [Botany (research): Sat. scientific works, Issue. 50]. Minsk: Kolorgrad, 2021, pp. 231–247.

Authors' information

Potapenko Anton Mikhaylovich ✉ — Cand. Sci. (Agriculture), Laboratory Manager, Institute of Forest of the National Academy of Sciences of Belarus, formelior@tut.by

Mashkov Igor' Alekseevich — Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher of the Laboratory, Institute of Forest of the National Academy of Sciences of Belarus, formelior@tut.by

Tolkacheva Natal'ya Vasil'evna — Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher of the Laboratory, Institute of Forest of the National Academy of Sciences of Belarus, formelior@tut.by

Sudnik Aleksandr Vladimirovich — Cand. Sci. (Biology), Head of Laboratory of Optimization and Monitoring of Ecosystem, V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus, asudnik@tut.by

Received 10.03.2023.

Approved after review 19.06.2023.

Accepted for publication 21.07.2023.

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



**11-я Международная научная конференция
«Экология человека и природы в XXI веке» (ЭкоМир-11)
Информационное письмо № 1**

В период с 30 октября по 3 ноября 2023 г. в Московском государственном техническом университете имени Н.Э. Баумана проводится Научный конгресс «Русский инженер».

В рамках Конгресса проходят 11-я Международная научная конференция по проблемам экологического мировоззрения «Экология человека и природы в XXI веке» (ЭкоМир-11) и круглый стол «Духовные ценности в экологическом сознании русского инженера».

Организаторами Конференции и КС являются Мытищинский филиал и кафедра СГН-4 «Философия» МГТУ им. Н.Э. Баумана при участии ряда вузов и научных организаций России и других стран СНГ.

К участию в Конференции и КС приглашаются преподаватели, научные сотрудники, аспиранты и студенты вузов, работники научных учреждений и других организаций России и зарубежных стран.

Основные тематические направления Конференции и КС:

1. Мировая и русская философия как теоретическая основа нового экологического мировоззрения в условиях тектонического разлома глобальной цивилизации.
2. Методологические проблемы научных исследований и разработок в области экологии человека и природной среды.
3. Проект Экоэтического кодекса России, отражение в нем этических оснований современных технологий (VR, НБИКС, ИИ) и науки.
4. Философско-методологические аспекты экологической эстетики.
5. Проблемы совершенствования экологической подготовки современного российского инженера и развития международного сотрудничества в области экволонтерского движения.

Основные информационные материалы и документы Научного конгресса «Русский инженер», в том числе конференции «ЭкоМир-11» и КС, размещаются на сайте русинженер.рф.

Организационный и программный комитеты
конференции «ЭкоМир-11»