

ЛЕСНОЙ ВЕСТНИК / FORESTRY BULLETIN

Научно-информационный журнал

№ 3 ' 2020 Том 24

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

Бурмистрова Ольга Николаевна, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет»

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

Драпалюк Михаил Валентинович, д-р техн. наук, профессор, проректор по науке и инновациям ФГБОУ ВПО «ВГЛТА», 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

Леонтьев Александр Иванович, д-р техн. наук, профессор, академик РАН, МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

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

Лукина Наталья Васильевна, член-корреспондент РАН, профессор, директор ЦЭПЛ РАН, зам. Председателя Научного

совета по лесу РАН, Москва

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

Мартынюк Александр Александрович, 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 Николай Александрович, д-р с.-х. наук, профессор, академик РАН, Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана,

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

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

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

Полуэктов 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, РКК «Энергия», ЗАО «ЗЭМ», Королёв

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

Титов Анатолий Матвеевич, канд. техн. наук, зам. начальника

отделения, ученый секретарь Совета ЦУП ЦНИИМАШ, Королёв

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

Федотов Геннадий Николаевич, д-р биол. наук, МГУ им. 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

Шадрин Анатолий Александрович, д-р техн. наук, профессор, академик РАЕН, Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

Шегельман Илья Романович, д-р техн. наук, профессор, Управление научных исследований, базовая кафедра

«Сквозные технологии и экономическая безопасность», главный научный сотрудник ПетрГУ, Петрозаводск

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

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

системного анализа (IIASA), Австрия

Ответственный секретарь Расева Елена Александровна

Редактор Л.В. Сивай

Перевод М.А. Карпухиной

Электронная версия Ю.А. Рязжской

Учредитель МГТУ им. Н.Э. Баумана

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

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-68118 от 21.12.2016

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

Материалы настоящего журнала могут быть перепечатаны и воспроизведены полностью или частично с письменного разрешения издательства

Выходит с 1997 года

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

Дата выхода в свет 01.06.2020.

Тираж 600 экз.

Заказ №

Объем 14,75 п. л.

Цена свободная

LESNOY VESTNIK / FORESTRY BULLETIN

Scientific Information Journal
№ 3 ' 2020 Vol. 24

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
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.), Vice-Rector for Science and Innovation Voronezh State Academy of Forestry, 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
Zalesov Sergey Veniaminovich, Professor, the 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-Universität, Goettingen
Leont'ev Aleksandr Ivanovich, Academician of the Russian Academy of Sciences, Professor, Dr. Sci. (Tech.), BMSTU, Moscow

Lipatkin Vladimir Aleksandrovich, Professor, Ph. D. (Biol.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
Lukina Natalya Vasilyevna, Corresponding Member of the RAS, Director of the Center for Sub-Settlement Research RAS, Deputy Chairperson of the Forest Research Council
Malashin Alexey Anatolyevich, Professor, Dr. Sci. (Physics and Mathematics), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
Martynyuk Aleksandr Aleksandrovich, Dr. Sci. (Agric.), VNIILM, Moscow
Melekhov Vladimir Ivanovich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), Academician of the Russian Academy of Natural Sciences, NARFU, Arkhangelsk
Moiseev Nikolay Aleksandrovich, Professor, Dr. Sci. (Agric.) academician of the Russian Academy of Sciences, BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
Niemz Peter, Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h.c., Prof. for Wood Physics, ETH Zurich (Swiss Federal Institute of Technology in Zurich; Eidgenössische Technische Hochschule Zurich)
Oblivin Aleksandr Nikolaevich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), Academician of the Russian Academy of Natural Sciences and MANVSH, Honored worker of science and equipment of the Russian Federation, BMSTU, Moscow
Pasztory, Zoltan, Dr. Ph.D., Director of Innovation Center, University of Sopron, Sopron, Hungary
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
Shadrin Anatoliy Aleksandrovich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), Academician of the Russian Academy of Natural Sciences, BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
Shegelman Ilya Romanovich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), PSU, Petrozvodsk
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.), Rocket and space corporation «ENERGIA», 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 01.06.2020.
Circulation 600 copies
Order №
Volume 14,75 p. p.
Price free

СОДЕРЖАНИЕ

ЛЕСОВЕДЕНИЕ, ЛЕСОВОДСТВО И ТАКСАЦИЯ ЛЕСА

Абсалямова С.Л., Абсалямов Р.Р., Поздеев Д.А. Таксация запасов лекарственных растений в лесничествах Удмуртской Республики	5
Бачурина А.В., Залесов С.В. Использование метода биоиндикации для оценки качества среды промышленных городов Урала	11
Беляев Н.Л., Сафаргалиева С.Ф. Новейшие технологии в таксации заготовленных лесоматериалов как элемент прецизионного лесного хозяйства	18
Зотов С.А., Дмитриев Е.В., Шибанов С.Ю. Оценка информационных возможностей гиперспектрального космического комплекса НПО «Лептон» и МФТИ в задаче мониторинга лесных территорий России	26
Покоева М.В., Ярославцев А.М. Экологические исследования смешанных насаждений методами дистанционного зондирования	33
Сибиркин Р.А., Сибиркина А.Р., Лихачев С.Ф. Основные причины возникновения лесных пожаров на территории Челябинской области	39

ЛЕСНЫЕ КУЛЬТУРЫ, СЕЛЕКЦИЯ, ГЕНЕТИКА И BIOTEХНОЛОГИЯ

Галиуллина Э.В., Галиуллин И.Р., Ульданова Р.А., Сабиров А.Т. Оптимизация защитного лесоразведения на склоновых ландшафтах Восточного Закарья	45
Карбасникова Е.Б., Бабич Н.А., Карбасников А.А. Особенности сезонного развития лиственницы (<i>Larix Mill.</i>) в условиях южной подзоны тайги	53
Корчагов С.А., Грибов С.Е., Хамитов Р.С. Опыт выращивания сосны скрученной (<i>Pinus contorta</i>) в Вологодской области	60
Мельник П.Г., Тишков А.С., Аксенов П.А. Продуктивность и качество древесины климатипов ели в условиях Подмосквья	66
Полякова О.И., Жук Е.А., Горошкевич С.Н. Причины низкого качества семян у мутационных «ведьминых метел» кедра сибирского	74
Мухаметшина А.Р., Петрова Г.А., Шайхразиев Ш.Ш., Гибадуллин Н.Ф., Русакова Э.С. Эффективность применения стимуляторов роста при выращивании ели европейской (<i>Picea abies L.</i>) в закрытом грунте	81

ЭКОЛОГИЯ И МОНИТОРИНГ ЛЕСА

Завалишин С.И., Карелина В.С., Орлов А.В., Патрушев В.Ю. Биохимический потенциал постпирогенных дерново-подзолистых почв ленточных и приобских боров Алтайского края	87
Менщиков С.Л., Кузьмина Н.А., Мохначев П.Е. Аккумуляция металлов в хвое сосны обыкновенной (<i>Pinus sylvestris L.</i>), в почве и снеговой воде в условиях техногенного загрязнения	94
Соболев А.А., Шипинская У.С. Наблюдения за популяциями вершинного короёда и короёда типографа с использованием феромонных ловушек на территории европейской части России	103

ЭКОНОМИКА В ЛЕСНОМ КОМПЛЕКСЕ

Мамлеева Э.Р., Сазыкина М.Ю., Трофимова Н.В. Межмуниципальное сотрудничество в лесопромышленном комплексе как фактор экономического развития северо-восточного субрегиона Республики Башкортостан	109
--	-----

CONTENTS

FORESTRY AND FOREST ESTIMATION

Absalyamova S.L., Absalyamov R.R., Pozdeev D.A. Medicinal plant stocks examination in Udmurt Republic forest areas	5
Bachurina A.V., Zalesov S.V. Bioindication method application to assess environment quality of industrial cities in the Urals	11
Belyaev N.L., Safargalieva S.F. Modern technologies applied to roundwood materials valuation as a part of precision forestry	18
Zotov S.A., Dmitriev Y.V., Shibano S.Y. Information capabilities evaluation of hyperspectral space complex by SPA «Lepton» and MIPT for monitoring forested territories in Russia	26
Pokoeva M.V., Yaroslavtsev A.M. Environmental researches of mixed stans by remote sensing methods	33
Sibirkin R.A., Sibirkina A.R., Likhachev S.F. Main reasons for forest fires in Chelyabinsk region	39

FORESTRY CROPS, SELECTION, GENETICS AND BIOTECHNOLOGY

Galiullina E.V., Galiullin I.R., Uldanova R.A., Sabirov A.T. Optimization of protective forest production on slope landscapes in East Zakam region	45
Karbasnikova E.B., Babich N.A., Karbasnikov A.A. Peculiarities of Larch (<i>Larix Mill.</i>) seasonal development in conditions of South Taiga sub-zone	53
Korchagov S.A., Gribov S.E., Khamitov R.S. Pine shore (<i>Pinus Contorta</i>) growing experiment in Vologda region	60
Melnik P.G., Tishkov A.S., Aksenov P.A. Climatic type spruce productivity and wood quality in Moscow region	66
Polyakova O.I., Zhuk E.A., Goroshkevich S.N. Causes of low seed quality in mutational «witches' brooms» of Siberian stone pine	74
Mukhametshina A.R., Petrova G.A., Shaykhraziev Sh.Sh., Gibadullin N.F., Rusakova E.S. Effectiveness of growth stimulants in European spruce cultivation under cover	81

ECOLOGY AND FOREST MONITORING

Zavalishin S.I., Karelina V.S., Orlov A.V., Patrushev V.Yu. Post-fire transformation of sod-podzolic soils in ribbon pine forests in Altai territory	87
Menshchikov S.L., Kuz'mina N.A., Mokhnachev P.E. Accumulation of metals in Pine (<i>Pinus sylvestris L.</i>) needles, in soil and snow melt water in conditions of technogenic pollution	94
Sobolev A.A., Shipinskaya U.S. Monitoring of <i>Ips Acuminatus</i> Gyll. and <i>Ips Typographus</i> L. populations by pheromone traps in european part of Russia	103

ECONOMY IN TIMBER COMPLEX

Mamleeva E.R., Sazykina M.Y., Trofimova N.V. Intermunicipal cooperation in timber industry as factor in economic development of north-eastern subregion of Republic of Bashkortostan	109
---	-----

УДК 630*5+630*892.5(470.51)

DOI: 10.18698/2542-1468-2020-3-5-10

ТАКСАЦИЯ ЗАПАСОВ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ В ЛЕСНИЧЕСТВАХ УДМУРТСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

С.Л. Абсалямова, Р.Р. Абсалямов, Д.А. Поздеев

ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, 426069, г. Ижевск, ул. Студенческая, д. 11

lesovod27@yandex.ru

Проведен сравнительный анализ таксации запасов лекарственных растений на примере лесничеств, расположенных в районе хвойно-широколиственных (смешанных) лесов европейской части Российской Федерации и южно-таежном районе европейской части Российской Федерации. С помощью методов закладки круговых пробных площадей в преобладающем типе леса изучены характерные лекарственные растения — *Fragaria vesca* L., *Aegopodium podagraria* L., *Urtica dioica* L., *Oxalis acetosella* L., *Asarum europaeum* L. и *Equisetum silvaticum* L. Установлен биологический, промысловый, хозяйственный запас лекарственных растений. Рассчитан объем возможных ежегодных заготовок в Вавожском и Увинском лесничествах Удмуртской Республики. Даны рекомендации по вырубке и хозяйственному использованию леса, о необходимости учета воздействия на сохранность и возобновление объемов лекарственных трав при их проведении.

Ключевые слова: лекарственные растения, таксация запасов, тип леса, группа возраста, полнота, запас и объем возможных ежегодных заготовок

Ссылка для цитирования: Абсалямова С.Л., Абсалямов Р.Р., Поздеев Д.А. Таксация запасов лекарственных растений в лесничествах Удмуртской Республики // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 3. С. 5–10. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-3-5-10

К началу XXI в. резко вырос спрос на лечебно-профилактические средства природного происхождения. Главным его фактором послужило наличие у большей части синтетических лекарственных препаратов различных нежелательных и даже опасных побочных эффектов. В пользу всех лекарственных растений также свидетельствует возможность их длительного применения, высокая безопасность при достаточной эффективности, простота приготовления и применения [1, 2].

К лекарственным растениям (*Plantae medicinalis*) относится обширная группа растений, используемых в медицине и ветеринарной практике с лечебной и профилактической целями [3].

Ученые изучают растения, стараясь найти ценные лекарственные виды, проводят углубленные исследования давно известных и широко используемых лекарственных растений, чтобы выявить новые возможности их применения в медицинской и ветеринарной практике.

Леса Удмуртской Республики славятся богатством и целебными свойствами, они издавна и традиционно используются для заготовки лекарственных трав. В последние десятилетия вопросу оценки, учету лекарственного сырья уделялось недостаточно внимания, несмотря на то, что с каждым годом интерес к ним увеличивался и, следовательно, возрастал риск их исчезновения [4, 5].

Цель работы

Работа посвящена изучению и выявлению массы лекарственного сырья, проведению сравнительного анализа запасов лекарственных

растений на примере Вавожского лесничества Удмуртской Республики, расположенного в зоне хвойно-широколиственных лесов, районе хвойно-широколиственных (смешанных) лесов европейской части Российской Федерации и Увинского лесничества Удмуртской Республики, расположенного в таежной зоне, южно-таежном лесном районе европейской части Российской Федерации [6].

Материалы и методы

Метод подбора, закладки и натурного оформления круговых пробных площадей определен согласно ОСТ 56–69–83 «Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки» [7]. В Вавожском и Увинском лесничествах, был выбран преобладающий тип леса — $E_{кк}$ (ельник кисличный), в пределах которого подбирались учетные выделы в насаждениях трех возрастных групп — молодняках, средневозрастных, спелых с низкой, средней и высокой полнотой.

В пределах каждого учетного выдела были заложены круговые пробные площади постоянного радиуса. Подбор пробных площадей в пределах выдела проведен механическим путем по принципу бесповторной выборки. Установленный размер круговых пробных площадей для древостоев с полнотой 0,7 и выше составил 400 м² (радиус 11,28 м), с полнотой ниже 0,7–600 м² (радиус 13,82 м) [8, 9].

Таксационная характеристика обследуемых объектов в Вавожском и Увинском лесничествах приведена в табл. 1.

Т а б л и ц а 1
Таксационная характеристика
обследуемых объектов в Вавожском
и Увинском лесничествах [1]

Examination characteristics of the surveyed objects
in Vavozhsky and Uvinsky forest areas [1]

Номер пробной площади	Состав древостоя	Полнота	Возраст преобладающей породы, лет
Вавожское лесничество			
1	6Е4Б	0,9	20
2	6Е4Б	0,7	9
3	3Е2ПЗБ2Ос	0,7	50
4	4Е1ПЗОс2Б+Е,П	0,5	60
5	5Е3П1Б1Ос	0,5	75
6	4Е3П2Б1Ос+Б	0,3	70
Увинское лесничество			
1	8Е2Б	0,5	15
2	6Е4Ос	0,7	35
3	4Е4Б2Ос	0,6	30
4	5Е2ПЗОс	0,8	60
5	6Е4Б	0,6	90
6	5Е3П2Б	0,8	90

Запасы сырья травянистых видов растений под пологом древостоя установили путем закладки учетных площадок в количестве не менее пяти на каждую пробную площадь [9–11].

Для исследования было подобрано 12 учетных выделов. Подбор учетных площадок в пределах пробной площади проведен механическим способом. В пределах каждой из круговых пробных площадей заложены по 10 учетных площадок размером 1×1 м. В итоге с учетом требований методики исследования в целях определения запасов и объемов сырья в Вавожском и Увинском лесничествах заложили учетные площадки [12–15].

В Вавожском лесничестве заложено 122 круговые пробные площади, учетных площадок — 1220 шт., в Увинском — 81 круговая пробная площадь, 810 учетных площадок.

С учетных площадок проводился сбор надземных частей исследуемых растений в период максимального содержания действующих веществ. После первичной обработки сырья его высушили в закрытом помещении с хорошей вентиляцией. Высушенное сырье взвешивали на весах в воздушно-сухом состоянии. При обработке результатов, полученных на пробных площадях, установлен запас лекарственного сырья на 1 га, площадь исследуемого типа леса, рассчитан допустимый объем возможных ежегодных заготовок лекарственного сырья.

Результаты и обсуждение

Статистическая обработка материалов исследования проведена аналитическим способом в программе Excel с вычислением основных по-

казателей (среднее квадратическое отклонение, коэффициент изменчивости (вариации), точность опыта, показатели достоверности). Сделан вывод о том, что показатели достоверности (t_x , t_v , t_p) во всех вариантах больше трех единиц. Это указывает на достоверность и надежность результатов. Сравнив среднюю арифметическую массу и коэффициент изменчивости в пределах возрастных групп в типе леса $E_{кс}$, можно сделать вывод о том, что с возрастом древостоя запас лекарственного сырья под пологом увеличивается, а его изменчивость уменьшается от большой (51,12...87,84 %) в молодняках до умеренной (12,86...33,26 %) в спелых насаждениях [16, 17].

Для установления существенности различия запасов сырья был вычислен коэффициент существенности различия в разных возрастных группах и при разных полнотах древостоя. При его значении больше трех влияние полноты и возраста насаждения на запас лекарственного сырья значительное, если меньше — незначительное [17].

Данные расчетов показывают, что коэффициент существенности различия (t) меньше трех, свидетельствует о незначительном влиянии полноты в данном возрастном диапазоне на запас лекарственного сырья в каждой группе возраста, за исключением копытня европейского (молодняки), сныти обыкновенной (средневозрастные) и крапивы двудомной (спелые) в Вавожском лесничестве (зона хвойно-широколиственных лесов); сныти обыкновенной (молодняки) и кислицы обыкновенной (средневозрастные) в Увинском лесничестве (таежная зона). Поэтому при определении биологического, промыслового и хозяйственного запасов лекарственного растительного сырья, влияние полноты оказалось незначительным и не влияющим на массу лекарственного сырья на территории изучаемых лесничеств.

Для выявления зависимости запаса лекарственного сырья от возраста древостоя необходимо вычислить коэффициент существенности различия, сравнив между собой каждую группу возраста.

С помощью анализа полученных результатов выявлена зависимость запаса лекарственного сырья от возраста древостоя. Так в Вавожском лесничестве возраст насаждения оказывает большее влияние на запас лекарственного сырья, так как коэффициент существенности различия в большинстве случаев составляет больше трех единиц. От возраста древостоя во многом зависит масса лекарственного сырья [5, 13, 18–20].

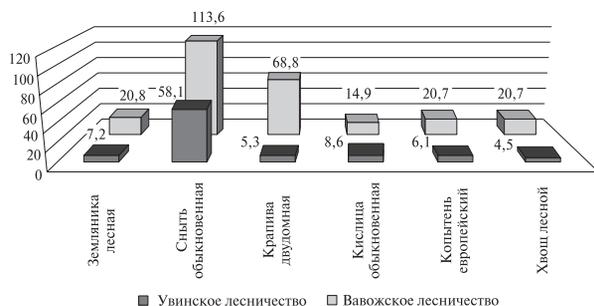
В Увинском лесничестве, расположенном в таежной зоне, коэффициент существенности различия в большинстве случаев составляет больше трех единиц, но в 47 % случаев коэффициент

Т а б л и ц а 2

Объем возможных ежегодных заготовок лекарственного сырья

The volume of possible annual procurement of medicinal raw materials

Растения	Группа возраста	Запас лекарственных растений						Объем возможных ежегодных заготовок, т
		биологический		промысловый		хозяйственный		
		на 1 га, кг	на площади страт, т	на 1 га, кг	на площади страт, т	на 1 га, кг	на площади страт, т	
Важожское лесничество								
Земляника лесная	Молод- няки	22,8	128,3	11,4	64,2	5,7	32,1	8
Сныть обыкновенная		132,5	747,1	66,3	373,6	33,1	186,8	46,7
Крапива двудомная		80	451	40	225,6	20	112,8	28,2
Кислица обыкновенная		15,8	88,8	7,9	44,4	3,9	22,2	5,5
Копытень европейский		22,5	126,9	11,3	63,5	5,6	31,7	7,9
Хвощ лесной		27,5	155,1	13,8	77,6	6,9	38,8	9,7
Земляника лесная	Средне- возраст- ные	25,8	98,2	13	49,1	6,4	24,6	6,2
Сныть обыкновенная		145	552	72,5	276,1	36,3	138	34,5
Крапива двудомная		88,3	336,1	44,2	168,1	22,1	84	21
Кислица обыкновенная		20	76,2	10	38,2	5	19	4,8
Копытень европейский		27,5	104,7	13,8	52,4	6,9	26,2	6,6
Хвощ лесной		30	114,2	15	57,2	7,6	28,6	7,2
Земляника лесная	Спелые	28,3	104,7	14,2	52,4	7,1	26,2	6,5
Сныть обыкновенная		140	517,8	70,0	258,9	35,0	129,5	32,4
Крапива двудомная		85	314,3	42,5	157,2	21,3	78,6	19,6
Кислица обыкновенная		20	74	10,0	37,0	5,0	18,5	4,6
Копытень европейский		26,6	98,4	13,3	49,2	6,7	24,6	6,2
Хвощ лесной		31	61,5	15,5	30,8	7,8	15,4	3,8
Итого		968,6	4149,3	484,3	2074,7	242,2	1037,3	259,5
Увинское лесничество								
Земляника лесная	Молод- няки	0,8	23,5	0,4	11,8	0,2	5,9	1,4
Сныть обыкновенная		8	225,2	4	112,7	2	56,3	14,1
Крапива двудомная		0,6	16,7	0,3	8,4	0,2	4,2	1
Кислица обыкновенная		0,9	25,2	0,4	12,6	0,2	6,3	1,6
Копытень европейский		0,6	26,9	0,4	13,5	0,2	6,7	1,7
Хвощ лесной		0,4	16,2	0,2	8,1	0,14	4	1
Земляника лесная	Средне- возраст- ные	0,8	30,5	0,4	15,2	0,2	7,6	1,9
Сныть обыкновенная		6,4	270,5	3,1	135,3	1,6	67,6	17
Крапива двудомная		0,5	18,9	0,2	9,5	0,2	4,8	1,2
Кислица обыкновенная		0,7	26,9	0,3	13,4	0,2	6,7	1,7
Копытень европейский		0,6	26,9	0,4	13,5	0,2	6,7	1,7
Хвощ лесной		0,4	16,2	0,2	8,1	0,14	4	1
Земляника лесная	Спелые	1	61,4	0,5	30,7	0,2	15,3	3,9
Сныть обыкновенная		7,1	431,9	3,6	215,9	1,8	107,9	27
Крапива двудомная		0,8	49,4	0,4	24,6	0,2	12,3	3,1
Кислица обыкновенная		0,8	85,6	0,4	42,8	0,2	21,4	5,3
Копытень европейский		0,8	50,6	0,4	25,3	0,2	12,6	3,1
Хвощ лесной		0,7	43,7	0,4	21,9	0,2	11	2,7
Итого		31,9	1446,2	16,0	723,3	8,28	361,3	89,8



Объем возможных ежегодных заготовок по видам сырья, т
The volume of possible annual procurement by type of raw material, t

существенности различия — меньше трех единиц. Возраст насаждения оказывает незначительное влияние на запас лекарственного сырья [16, 17].

На основании данных, которые были получены в результате исследования на учетных площадках, выявлен биологический, промысловый и хозяйственный запас лекарственного сырья и установлен объем возможных ежегодных заготовок [12] (табл. 2).

У исследованных лекарственных растений в Вавожском лесничестве Удмуртской Республики наибольший объем возможных ежегодных заготовок занимает сныть обыкновенная — 113,6 т (поскольку она имеет наиболее существенную массу по сравнению с другими лекарственными растениями), а наименьший — кислица обыкновенная — 14,9 т, в Увинском лесничестве наибольший объем принадлежит сныти обыкновенной, который составил 58,1 т, наименьший — хвощу лесному — 4,5 т (рисунок).

Выводы

Проведенные исследования значительного объема фактического материала и продолжительные наблюдения в Вавожском и Увинском лесничествах Удмуртской Республики позволяют сделать заключение о том, что масса лекарственного сырья в пределах рассмотренных возрастных групп увеличивается от молодняков к спелым насаждениям. Согласно расчетам, существенных различий запаса лекарственного сырья от полноты не выявлено в данном возрастном диапазоне, за исключением копытня европейского (молодняки), сныти обыкновенной (средневозрастные) и крапивы двудомной (спелые) в Вавожском лесничестве; сныти обыкновенной (молодняки) и кислицы обыкновенной (средневозрастные) — в Увинском лесничестве. При определении биологического, промыслового и хозяйственного запасов лекарственного растительного сырья влияние полноты оказалось незначительным и не влияющим на массу лекарственного сырья. Анализ полученных результатов выявил зависимость

запаса лекарственного сырья от возраста древостоя, коэффициент существенности различия в большинстве случаев больше трех единиц. В 47 % случаев коэффициент существенности различия — меньше трех единиц, отсюда сделан вывод о незначительном влиянии возраста насаждения на запас лекарственного сырья.

Список литературы

- [1] Блинова К.Ф., Борисова Н.А., Горгинский Г.Б. Ботанико-фармакологический словарь / под ред. К.Ф. Блиновой, Г.П. Яковлева. М.: Высш. школа, 1990. 272 с.
- [2] Баранова О.Г. Основные лесные растения и их практическое использование // Леса Удмуртии / под ред. В.В. Туганаева. Ижевск: Удмуртия, 1997. С. 67–141.
- [3] Лекарственные растения. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Лекарственные_растения (дата обращения 12.12.2019).
- [4] Абсалямова С.Л., Абсалямов Р.Р., Мясникова К.И. Исследование массы лекарственных растений в лесничествах Удмуртской Республики на примере Вавожского и Увинского лесничеств // Научно обоснованные технологии интенсификации сельскохозяйственного производства. Материалы Междунар. науч.-практ. конф., в 3-х т., Ижевск, 14–17 февраля 2017 г. Ижевск: Ижевская ГСХА, 2017. С. 163–167.
- [5] Приказ Рослесхоза от 05.12.2011 № 511 «Об утверждении Правил заготовки пищевых лесных ресурсов и сбора лекарственных растений». URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=128500&fld=134&dst=100000001,0&rnd=0.8108785131394252#04854681422497358> (дата обращения 12.12.2019).
- [6] Приказ Минприроды России от 18.08.2014 № 367 (ред. от 19.02.2019) «Об утверждении Перечня лесорастительных зон Российской Федерации и Перечня лесных районов Российской Федерации». URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=321917&fld=134&dst=100000001,0&rnd=0.9401876208176565#020464966624308034> (дата обращения 12.12.2019).
- [7] ОСТ 56–69–83 «Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки». М.: ЦБМТлесхоз, 1984. 10 с.
- [8] Загреб В.В., Сухих В.И., Швыдченко А.З., Гусев И.Н., Мошкалева А.Г. Общесоюзные нормативы для таксации лесов. М.: Колос, 1992. 495 с.
- [9] Соколов П.А., Газизуллин А.Х., Пуряев А.С. Методика учета естественного возобновления. Казань: ИИЦ «Школа», 2007. 44 с.
- [10] Соколов П.А., Абсалямова С.Л., Поздеев Д.А. Медоносные и лекарственные растения Удмуртской Республики. Ижевск: Ижевская ГСХА, 2004. 174 с.
- [11] Корепанов Д.А., Абсалямов Р.Р., Абсалямова С.Л., Альхов Н.К., Украинцев В.С. Недревесные ресурсы леса Удмуртской Республики: монография. Ижевск: Ижевская ГСХА, 2008. 79 с.
- [12] Соколов П.А., Абсалямова С.Л. Лесоустройство. Оценка запасов и пользование лекарственными растениями Удмуртской Республики: метод. указания. Ижевск: Ижевская ГСХА, 2009. 50 с.
- [13] Методика определения запасов лекарственных растений URL: <http://docs.cntd.ru/document/9032337> (дата обращения 12.12.2019).
- [14] Светлакова О.А., Абсалямов Р.Р., Абсалямова С.Л. Методики определения урожайности недревесных лесных ресурсов // Теория и практика — устойчивому

- развитию агропромышленного комплекса. Материалы Всерос. науч.-практ. конф., Ижевск, 17–20 февраля 2015 г. Ижевск: Ижевская ГСХА, 2015. С. 233–236.
- [15] Руководство по учету и оценке второстепенных лесных ресурсов и продуктов побочного лесопользования. М.: ВНИИЛМ, 2003. 316 с.
- [16] Соколов П.А., Черных В.Л. Дипломное проектирование: обработка результатов измерений. Ижевск: Ижевская ГСХА, 2007. 99 с.
- [17] Дворецкий М.Л. Практическое пособие по вариационной статистике. Йошкар-Ола: Поволжский ЛПИ, 1961. 99 с.
- [18] Лесной кодекс Российской Федерации. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64299/ (дата обращения 12.12.2019).
- [19] Воеводина К.И., Абсалямов Р.Р., Абсалямова С.Л. Проблемы и перспективы использования недревесных ресурсов леса // Инновационные технологии для реализации программы научно-технического развития сельского хозяйства. Материалы Междунар. науч.-практ. конф.: в 3 т. Ижевск, 13–16 февраля 2018 г. Ижевск: Ижевская ГСХА, 2018. С. 155–158.
- [20] Приказ Рослесхоза от 05.12.2011 № 510 «Об утверждении Правил использования лесов для выращивания лесных плодовых, ягодных, декоративных растений, лекарственных растений». URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=124789&fld=134&dst=100000001,0&rnd=0.14482779026758585#05948825198446479> (дата обращения 12.12.2019).

Сведения об авторах

Абсалямова Светлана Леонидовна — старший преподаватель кафедры лесоустройства и экологии, ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, lesovod27@yandex.ru

Абсалямов Рафаэль Рамзиевич — канд. с.-х. наук, доцент, заведующий кафедрой лесоустройства и экологии, ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, lesovod27@yandex.ru

Поздеев Денис Александрович — канд. с.-х. наук, доцент кафедры лесоустройства и экологии, ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, lesovod27@yandex.ru

Поступила в редакцию 10.02.2020.

Принята к публикации 25.03.2020.

MEDICINAL PLANT STOCKS EXAMINATION IN UDMURT REPUBLIC FOREST AREAS

S.L. Absalyamova, R.R. Absalyamov, D.A. Pozdeev

Izhevsk State Agricultural Academy, 11, Studentskaya st., Izhevsk, 426069, Udmurt Republic, Russia

lesovod27@yandex.ru

A comparative analysis of the medicinal plant stocks examination is performed on the example of forest areas located in the coniferous-broad-leaved (mixed) forests of the European part of the Russian Federation and the southern taiga region of the European part of the Russian Federation. Typical medicinal plants as *Fragaria vesca* L., *Aegopodium podagraria* L., *Urtica dioica* L., *Oxalis acetosella* L., *Asarum europaeum* L. and *Equisetum silvaticum* L. were studied by using methods of laying circular trial plots in the prevailing forest type. A biological, commercial, and economic reserve of medicinal plants has been established. The volume of possible annual harvesting in the Vavozhsky and Uvinsky forest areas of the Udmurt Republic is calculated. Recommendations are given on the cutting and economic use of forests, on the need to take into account the impact on the preservation and renewal of medicinal herbs during their implementation.

Keywords: medicinal plants, inventory examination, forest type, age group, completeness, stock and volume of possible annual stocks

Suggested citation: Absalyamova S.L., Absalyamov R.R., Pozdeev D.A. *Taksatsiya zapasov lekarstvennykh rasteniy v lesnichestvakh Udmurtskoy Respubliki* [Medicinal plant stocks examination in Udmurt Republic forest areas]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 3, pp. 5–10. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-3-5-10

References

- [1] Blinova K.F., Borisova N.A., Gortinskiy G.B. *Botaniko-farmakologicheskoy slovar'* [Botanical and Pharmacological Dictionary]. Ed. K.F. Blinova, G.P. Yakovlev. Moscow: Vysshaya shkola [Higher School], 1990, 272 p.
- [2] Baranova O.G. *Osnovnye lesnye rasteniya i ikh prakticheskoe ispol'zovanie* [The main forest plants and their practical use] Lesa Udmurtii [Forests of Udmurtia]. Ed. V.V. Tuganaev. Izhevsk: Udmurtia, 1997, pp. 67–141.
- [3] *Lekarstvennyye rasteniya* [Medicinal plants]. Available at: https://ru.wikipedia.org/wiki/Dosage_plants (accessed 12.12.2019).
- [4] Absalyamova S.L., Absalyamov R.R., Myasnikova K.I. *Issledovanie massy lekarstvennykh rasteniy v lesnichestvakh Udmurtskoy Respubliki na primere Vavozhskogo i Uvinskogo lesnichestv* [The study of the mass of medicinal plants in the forestry of the Udmurt Republic on the example of the Vavozhsky and Uvinsky forestries] *Nauchno obosnovannyye tekhnologii*

- intensifikatsii sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva. Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, v 3-kh t. [Scientifically based technologies for intensifying agricultural production. Materials of the International Scientific and Practical Conference, in 3 vol.] Izhevsk, February 14–17, 2017. Izhevsk: Izhevsk State Agricultural Academy, 2017, pp. 163–167.
- [5] *Prikaz Rosleskhoza ot 05.12.2011 № 511 «Ob utverzhdenii Pravil zagotovki pishchevykh lesnykh resursov i sbora lekarstvennykh rasteniy»* [Order of Rosleskhoz dated December 5, 2011 No. 511 «On approval of the Rules for harvesting food forest resources and collecting medicinal plants»]. Available at: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=128500&fld=134&dst=100000001,0&rnd=0.8108785131394252#04854681422497358> (accessed 12.12.2019).
- [6] *Prikaz Minprirody Rossii ot 18.08.2014 № 367 (red. ot 19.02.2019) «Ob utverzhdenii Perechnya lesorastitel'nykh zon Rossiyskoy Federatsii i Perechnya lesnykh rayonov Rossiyskoy Federatsii»* [Order of the Ministry of Natural Resources of Russia dated 08/18/2014 No. 367 (as amended on 19.02.2019) «On approval of the List of forest growing zones of the Russian Federation and the List of forest regions of the Russian Federation»]. Available at: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=321917&fld=134&dst=100000001,0&rnd=0.9401876208176565#020464966624308034> (accessed 12.12.2019).
- [7] *OST 56–69–83 «Ploshchadi probnye lesoustroitel'nye. Metod zakladki»* [OST 56–69–83 «Trial forest inventory areas. Bookmark Method»]. Moscow: CBMTleskhoz, 1984, 10 p.
- [8] Zagreev V.V., Sukhikh V.I., Shvydchenko A.Z., Gusev I.N., Moshkalev A.G. *Obshcheyuznyye normativy dlya taksatsii lesov* [Union-wide standards for forest taxation]. Moscow: Kolos, 1992, 495 p.
- [9] Sokolov P.A., Gazizullin A.Kh., Puryaev A.S. *Metodika ucheta estestvennogo vozobnovleniya* [Methods of accounting for natural regeneration]. Kazan: RITs «Shkola» [RIC «School»], 2007, 44 p.
- [10] Sokolov P.A., Absalyamova S.L., Pozdeev D.A. *Medonosnye i lekarstvennye rasteniya Udmurtskoy Respubliki* [Honey and medicinal plants of the Udmurt Republic]. Izhevsk: Izhevsk State Agricultural Academy, 2004, 174 p.
- [11] Korepanov D.A., Absalyamov R.R., Absalyamova S.L., Al'kov N.K., Ukraintsev V.S. *Nedrevesnye resursy lesa Udmurtskoy Respubliki* [Non-timber forest resources of the Udmurt Republic]. Izhevsk: Izhevsk State Agricultural Academy, 2008, 79 p.
- [12] Sokolov P.A., Absalyamova S.L. *Lesoustroystvo. Otsenka zapasov i pol'zovanie lekarstvennymi rasteniyami Udmurtskoy Respubliki* [Forest inventory. Estimation of stocks and use of medicinal plants of the Udmurt Republic]. Izhevsk: Izhevsk State Agricultural Academy, 2009, 50 p.
- [13] *Metodika opredeleniya zapasov lekarstvennykh rasteniy* [Methodology for determining the stocks of medicinal plants]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/9032337> (accessed 12.12.2019).
- [14] Svetlakova O.A., Absalyamov R.R., Absalyamova S.L. *Metodiki opredeleniya urozhaynosti nedrevesnykh lesnykh resursov* [Methods for determining the yield of non-timber forest resources] *Teoriya i praktika — ustoychivomu razvitiyu agropromyshlennogo kompleksa. Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Theory and practice — to the sustainable development of agriculture. Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference]. Izhevsk, February 17–20, 2015. Izhevsk: Izhevsk State Agricultural Academy, 2015, pp. 233–236.
- [15] *Rukovodstvo po uchetu i otsenke vtorostepennykh lesnykh resursov i produktov pobochnogo lesopol'zovaniya* [Guidance on the accounting and assessment of minor forest resources and by-products]. Moscow: VNIILM, 2003, 316 p.
- [16] Sokolov P.A., Chernykh V.L. *Diplomnoe proektirovanie: obrabotka rezul'tatov izmereniy* [Graduation design: processing of measurement results]. Izhevsk: Izhevsk State Agricultural Academy, 2007, 99 p.
- [17] Dvoretzkiy M.L. *Prakticheskoe posobie po variatsionnoy statistike* [A practical guide to variation statistics]. Yoshkar-Ola: Volga State Technical University, 1961, 99 p.
- [18] *Lesnoy kodeks Rossiyskoy Federatsii* [Forest Code of the Russian Federation]. Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64299/ (accessed 12.12.2019).
- [19] Voevodina K.I., Absalyamov R.R., Absalyamova S.L. *Problemy i perspektivy ispol'zovaniya nedrevesnykh resursov lesa* [Problems and prospects of using non-timber forest resources] *Innovatsionnye tekhnologii dlya realizatsii programmy nauchno-tehnicheskogo razvitiya sel'skogo khozyaystva. Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. V 3 t.* [Innovative technologies for implementing the program of scientific and technical development of agriculture. Materials of the International scientific-practical conference. In 3 t.] Izhevsk, February 13–16, 2018. Izhevsk: Izhevsk State Agricultural Academy, 2018, pp. 155–158.
- [20] *Prikaz Rosleskhoza ot 05.12.2011 № 510 «Ob utverzhdenii Pravil ispol'zovaniya lesov dlya vyrashchivaniya lesnykh plodovykh, yagodnykh, dekorativnykh rasteniy, lekarstvennykh rasteniy»* [Order of Rosleskhoz dated December 5, 2011 No. 510 «On the Approval of the Rules for the Use of Forests for Growing Forest Fruit, Berry, Ornamental Plants, and Medicinal Plants»]. Available at: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=124789&fld=134&dst=100000001,0&rnd=0.14482779026758585#05948825198446479> (accessed 12.12.2019).

Authors' information

Absaljamova Svetlana Leonidovna — Senior Lecturer at the Department of forest management and ecology, Izhevsk State Agricultural Academy, lesovod27@yandex.ru

Absaljamov Rafajel' Ramzievich — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor, Head of the Department of Forest management and ecology, Izhevsk State Agricultural Academy, lesovod27@yandex.ru

Pozdeev Denis Aleksandrovich — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Department of Forest management and ecology, Izhevsk State Agricultural Academy, lesovod27@yandex.ru

Received 10.02.2020.

Accepted for publication 25.03.2020.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА БИОИНДИКАЦИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА СРЕДЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ГОРОДОВ УРАЛА

А.В. Бачурина, С.В. Залесов

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

zalesov@usfeu.ru

На основании метода биологической индикации предпринята попытка оценки качества среды вблизи промышленных предприятий Уральского региона на основе метода пробных площадей и флуктуирующей асимметрии листовых пластинок березы повислой (*Betula pendula* Roth.). В зоне влияния промышленных поллютантов предприятий АО «Карабашмедь» и ОАО «Уфалейникель» проведены исследования, согласно которым установлены существенные различия промышленных поллютантов указанных предприятий по составу: вокруг первого из них в составе аэропромвыбросов доминируют серосодержащие вещества и присутствуют оксиды углерода, меди и цинка, а также свинец, мышьяк, диоксид азота, неорганическая пыль и др., вокруг второго — диоксид серы, неорганическая пыль, бензопирен, оксид меди, никель и др. Показана высокая эффективность метода флуктуирующей асимметрии листовых пластинок березы повислой для оценки качества среды. Дана характеристика состояния окружающей среды в пределах Карабашского городского округа, существенно отличающаяся от нормы. В черте г. Верхний Уфалей, на расстоянии 7,6 км от предприятия ОАО «Уфалейникель», состояние окружающей среды определено как критическое. При этом на расстоянии более 10 км выявлено лишь начальное отклонение от нормы. В целом, можно отметить, что состояние окружающей среды на территории Карабашского городского округа и г. Верхний Уфалей, остается неблагоприятным.

Ключевые слова: качество среды, береза повислая, флуктуирующая асимметрия, интегральный показатель асимметрии, листовая пластинка, промышленные поллютанты

Ссылка для цитирования: 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. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-3-11-17

Ухудшение экологической ситуации в первую очередь связано с развитием промышленности, добычей и нерациональным использованием природных ресурсов. Ситуация усугубляется в связи с концентрацией промышленных предприятий, когда сочетание промышленных поллютантов различного химического состава создает неблагоприятную экологическую обстановку для проживающего населения [1]. По данным общественной экологической организации «Зеленый патруль», в национальном экологическом рейтинге регионов последнее место занимает Уральский Федеральный округ [2]. Среди шести субъектов, входящих в состав округа, наихудшее положение имеет Челябинская обл. В экологическом рейтинге среди субъектов РФ Челябинская обл. находится на предпоследнем — 84-м месте [3]. Основными источниками загрязнения окружающей среды здесь являются металлургические предприятия. По объемам производимой продукции черной металлургии регион не имеет равных. В области также развита цветная металлургия: здесь производят медь, никель, цинк, а также огнеупорные материалы из магнезита и др. Как правило, предприятия черной и цветной металлургии являются градообразующими и в то же время основными источниками поллютантов, которые оказывают негативное воздействие на окружающую среду [4, 5].

Неблагоприятная ситуация сложилась как в крупных городах — Челябинске и Магнитогорске, так и в некоторых малых городах области: Карабаш, Верхний Уфалей, Сатка и др.

Для оценки качества среды в двух городах Челябинской обл. Карабаш и Верхний Уфалей и на прилегающих к ним территориях нами были проведены соответствующие исследования.

Цель работы

Цель исследований — оценка экологического состояния городов Карабаш и Верхний Уфалей по показателю флуктуирующей асимметрии листовой пластинки березы повислой (*Betula pendula* Roth.).

Материалы и методы

В 2017–2018 гг. нами проведены исследования с применением метода флуктуирующей асимметрии листовой пластинки, рекомендованного Министерством природных ресурсов Российской Федерации для следующих целей: использования при определении состояния природных ресурсов; определения предельно допустимых нагрузок; выявления зон экологического бедствия; проведения работ по оценке воздействия на окружающую среду и при репрофилировании предприятий; оценки эффективности природоохранных мероприятий; создания особо охраняемых природ-

ных территорий [6]. Данная методика широко используется и доказала свою эффективность во многих регионах РФ [7–13]. Флуктуирующая асимметрия — это небольшие случайные различия от двусторонней симметрии у организмов или их частей (например, листьев березы), величину которых используют в качестве индикатора состояния среды, степени антропогенного загрязнения [6, 14, 15]. Сбор материала проводился на временных пробных площадях (ВПП), заложенных в соответствии с апробированными методиками [16, 17], после остановки роста листьев (начиная с конца июля). Образцы собирались из расчета по 10 листьев с 10 растений в каждом образце. У березы повислой (*Betula pendula* Roth.) листья отбирались только с укороченных побегов из нижней части кроны с максимального количества веток равномерно вокруг дерева. Для мерных признаков величина асимметрии у растений рассчитывалась как различие в промерах слева и справа, отнесенное к сумме промеров на двух сторонах. Для оценки показателей флуктуирующей асимметрии листовых пластинок березы повислой использовались следующие шесть показателей:

- 1) ширина половины листа;
- 2) длина второй от основания листа жилки второго порядка;
- 3) расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка;
- 4) расстояние между окончаниями первой и второй жилок второго порядка;
- 5) расстояние между окончаниями второй жилки второго порядка и вершиной листа;
- 6) угол между главной жилкой и второй от основания листа жилкой второго порядка.

Длина жилок и расстояние между ними измеряли с точностью до 0,1 мм, угол прикрепления второй жилки к основной измеряли с точностью до 0,5°. На последнем этапе вычисляли интегральный показатель стабильности развития — величину среднего относительного различия между сторонами на признак. Для оценки степени выявленных отклонений от нормы, их места в общем диапазоне возможных изменений показателя разработана балльная шкала [18]. Диапазон между этими пороговыми уровнями ранжируется в порядке возрастания значений показателя: I балл (до 0,040), II (0,040–0,044), III (0,045–0,049), IV (0,050–0,054), V балл (более 0,054). По мере увеличения значения балла качество среды ухудшается. Так, если I балл соответствует условной норме, то при V балле условия среды характеризуются как критические.

Объекты исследований

В г. Карабаше основным источником промышленных поллютантов является АО «Кара-

башмедь» (до 2004 г. — Карабашский медеплавильный комбинат). Предприятие функционирует уже более 110 лет и по праву считается одним из старейших металлургических предприятий на территории Российской Федерации. Объем его производства достигает 150 тыс. т черновой меди в год. В процессе производства в атмосферу поступают газообразные вещества и пыль. При этом основным компонентом токсичных соединений являются серосодержащие вещества, на долю которых приходится около 90 % всех аэропромвыбросов. Кроме того, в составе выбросов присутствуют тяжелые металлы, оксиды углерода, мышьяк, диоксид азота, а также неорганическая пыль [1, 13].

Для достижения цели исследований были подобраны участки для сбора материала: четыре участка в местах естественного произрастания березы повислой и три — на участках лесной рекультивации. Объекты естественного произрастания березы расположены в северо-восточном направлении на расстоянии 0,8; 2,2; 8,0 и 13,0 км от источника промышленных поллютантов. Соответственно, участки №№ 1 и 2 находятся на территории Карабашского городского округа, а №№ 3 и 4 — на землях лесного фонда Карабашского участкового лесничества. Отметим также, что участок № 1 располагается в непосредственной близости к промышленной зоне АО «Карабашмедь», а участок № 2 — на горном склоне, у подножия которого пролегает ул. Ленина. Растительность на этом участке представлена только березой повислой. Три других объекта — это экспериментальные участки на горе Золотой, находящейся в черте г. Карабаша. На западном и восточном склонах этой горы в 1994 г. выполнена лесная рекультивация методом террасирования [19, 20]. Древесная растительность на этих участках в основном представлена березой повислой.

Основное градообразующее предприятие в г. Верхний Уфалей — ОАО «Уфалейникель». Предприятие длительное время занимало второе место в России по объемам производства никеля. Работа предприятия обусловила загрязнение атмосферного воздуха вредными веществами, содержащими диоксид серы, бензапирен, никель, неорганическую пыль и т. д. При этом объем выбросов ОАО «Уфалейникель» превышал 40 000 т в год. Низкие экономические показатели предприятия привели к тому, что в 2017 г. оно было закрыто из-за нерентабельности, другими словами, была проведена консервация оборудования [12]. Однако негативное воздействие деятельности ОАО «Уфалейникель» еще долгое время будет сохраняться в результате накопления вредных веществ в почве, растениях и т. д.

В сентябре 2017 г. нами был проведен отбор листьев березы повислой на пяти объектах: четы-

ре временных пробных площади (ВПП) заложены нами в 2015 г. для проведения исследований влияния промышленных поллютантов ОАО «Уфалейникель» на состояние некоторых компонентов насаждений и отнесены соответственно к зонам сильной (ВПП-2), средней (ВПП-5), слабой степени поражения (ВПП-7) и условно-контрольной ВПП-8К [21]. Пятая точка сбора располагалась в черте города на расстоянии 1,5 км от источника промышленных поллютантов.

Результаты и обсуждение

В августе-сентябре 2017–2018 гг. был собран материал для исследований, согласно методике, на территориях двух городских округов и прилегающих к ним лесных насаждениях (табл. 1).

Материалы, представленные в табл. 1, свидетельствуют о том, что качество окружающей среды Карабашского городского округа и его окрестностей не соответствует норме. В черте города наблюдаются существенные (значительные) отклонения от нормы, но с удалением от АО «Карабашмедь» состояние среды значительно улучшается. Интегральный показатель стабильности развития для березы повислой, произрастающей на расстоянии 8,0 км от источника промышленных поллютантов составляет 0,046, а на расстоянии 13,0 км — 0,041, и, согласно действующей шкале [18], соответствует III и II баллам (рис. 1).

Приведенный на рис. 1 график показывает, что зависимость имеет линейный характер. По мере удаления от предприятия как источника выбросов, улучшается состояние изучаемых деревьев березы, билатеральная симметрия листовых пластинок приближается к норме.

Материалы, полученные на участках лесной рекультивации, свидетельствуют о среднем и значительном отклонениях от нормы интегрального показателя асимметрии. На участке рекультивации № 1, расположенном на западном склоне горы Золотой, интегральный показатель стабильности развития соответствует III баллу, а на двух других — IV. Это вполне согласуется с факторами, влияющими на произрастание древесной растительности, оцениваемыми визуально. В отличие от участков №№ 2 и 3, где почва полностью отсутствует, на первом участке на террасах имеется почвенный покров небольшой мощности и, как следствие, формируются такие компоненты лесных насаждений, как подрост, подлесок и живой напочвенный покров.

По объектам, расположенным в г. Верхнем Уфалее и в прилегающих к нему лесных насаждениях, интегральные показатели стабильности развития приведены в табл. 2.

Согласно материалам табл. 2, балл состояния окружающей среды, определенный по показателю

Т а б л и ц а 1

Интегральные показатели стабильности развития березы повислой в окрестностях г. Карабаша

Integral indicators of the birch development stability in the vicinity of Karabash

Участок сбора материала	Расстояние от источника поллютантов, км	Интегральный показатель асимметрии	Балл состояния	Качество развития
№ 1 (черта города)	0,8	0,050	IV	Существенные (значительные) отклонения от нормы
№ 2 (черта города)	2,2	0,053	IV	Существенные (значительные) отклонения от нормы
№ 3 (северо-восточное направление)	8,0	0,046	III	Средний уровень отклонения от нормы
№ 4 (северо-восточное направление)	13,0	0,041	II	Начальные (незначительные) отклонения от нормы
Участок рекультивации № 1. Западный склон горы Золотой	3,1	0,047	III	Средний уровень отклонения от нормы
Участок рекультивации № 2. Западный склон горы Золотой	3,0	0,054	IV	Существенные (значительные) отклонения от нормы
Участок рекультивации № 3. Восточный склон горы Золотой	3,3	0,053	IV	Существенные (значительные) отклонения от нормы

флуктуирующей асимметрии деревьев березы существенно отличается в зависимости от местоположения взятия образца. В частности, на расстоянии до 7,6 км от ОАО «Уфалейникель» состояние окружающей среды можно оценить как критическое. По мере дальнейшего удаления от источника промышленных поллютантов состояние окружающей среды улучшается и на расстоянии от 17 до 21 км оно характеризуется незначительным отклонением от нормы. Таким образом, рассеивание промышленных поллютантов по мере удаления от источника выбросов приводит к улучшению состояния окружающей

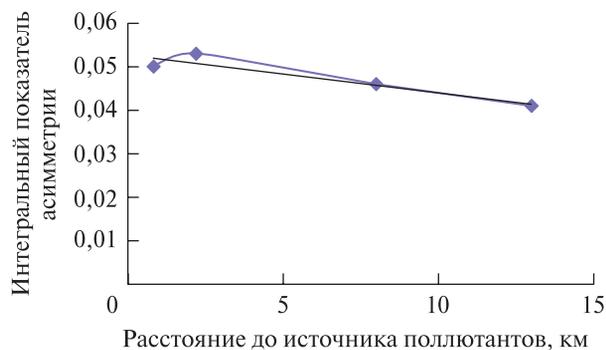


Рис. 1. Зависимость величины интегрального показателя асимметрии листьев березы от расстояния до АО «Карабашмедь»

Fig. 1. The dependence of the integral index of birch leaves asymmetry on the distance to Karabashmed JSC

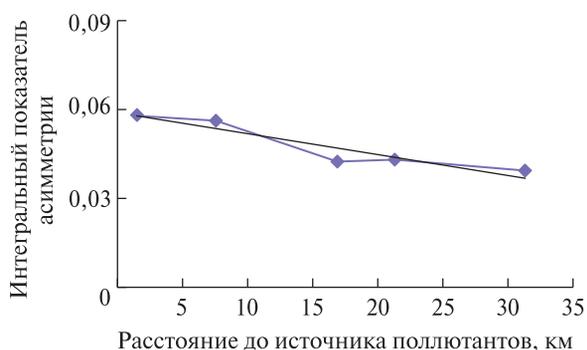


Рис. 2. Зависимость интегрального показателя асимметрии листьев березы от удаления участков их произрастания от ОАО «Уфалейникель»

Fig. 2. The dependence of the integral index of asymmetry of birch leaves on the remote areas of their growth from Ufaleinikel OJSC

среды и при удалении более чем на 30 км она характеризуется условно нормальным состоянием. Зависимость состояния деревьев березы от расстояния до источника промышленных поллютантов отмечалась и другими исследователями [20].

Особо следует отметить, что данные табл. 2 позволяют проследить зависимость среднего состояния среды, установленного по показателю флуктуирующей асимметрии от зоны поражения. Так, в зоне сильного поражения показатели состояния среды характеризуются как критическое. В зоне средней степени поражения — как незначительное отклонение от нормы, а в зоне контроля — как условно нормальное состояние. Другими словами, полученный интегральный показатель асимметрии листьев березы на ВПП-8К (31,3 км) свидетельствует об условно нормальном состоянии качества среды, т. е. эти деревья произрастают в благоприятных экологических условиях. Значение среднего балла категории состояния деревьев березы на этой ВПП составляет 1,9.

Т а б л и ц а 2

Интегральные показатели стабильности развития березы повислой в окрестностях г. Верхний Уфалей

Integral indicators of European birch development stability in the vicinity of Verkhny Ufaley

Место сбора образцов	Расстояние от источника поллютантов, км	Интегральный показатель асимметрии	Балл состояния	Качество развития
Черта города	1,5	0,058	V	Критическое состояние
Зона сильной степени поражения ВПП-2	7,6	0,056	V	Критическое состояние
Зона средней степени поражения ВПП-5	16,9	0,042	II	Начальные (незначительные) отклонения от нормы
Зона слабой степени поражения ВПП-7	21,3	0,043	II	Начальные (незначительные) отклонения от нормы
ВПП-8К	31,3	0,039	I	Условно нормальное состояние

Зависимость интегрального показателя флуктуирующей асимметрии листьев березы повислой от расстояния до источника промышленных поллютантов представлена на рис. 2.

На графике, представленном на рис. 2, указана зависимость, которая с высокой степенью вероятности описывается уравнением. Зависимость прямолинейная. При этом интегральный показатель асимметрии приближается к условной норме на расстоянии более 25 км от предприятия.

Помимо промышленных поллютантов на состояние древесных растений и окружающую среду существенное влияние оказывают и другие антропогенные факторы. К последним можно отнести выбросы автотранспорта, рекреационное воздействие и т. п.

Использование метода определения состояния окружающей среды по асимметрии листовых пластинок березы повислой позволяет оперативно, без дорогостоящих приборов, определить экологическую обстановку в регионе, осуществлять экологический мониторинг за состоянием

окружающей среды. Уникальность метода наряду с простотой применения объясняется возможностью его использования при наличии различных видов негативного антропогенного воздействия на окружающую среду.

Выводы

1. Для оценки качества среды эффективным признан метод флуктуирующей асимметрии листовой пластинки березы повислой.

2. В состоянии качества среды на территории Карабашского городского округа наблюдаются существенные (значительные) отклонения от нормы. На значительном удалении от АО «Карабашмедь» — 8,0 и 13,0 км качество среды имеет средний и начальный уровень отклонений от нормы соответственно.

3. Состояние среды в черте г. Верхний Уфалей (1,5 км) и на расстоянии до 8 км от источника промышленных поллютантов оценивается как критическое. На объектах, удаленных на расстояние 16,9 и 21,3 км от АО «Уфалейникель», состояние окружающей среды нормализуется, а при удалении на 30 км оно характеризуется как близкое к нормальному.

4. Установленная зависимость интегрального показателя асимметрии листьев березы у деревьев на участках их естественного произрастания от расстояния до АО «Карабашмедь», имеет линейный характер. Аналогичная зависимость выявлена на объектах, расположенных в окрестностях г. Верхний Уфалей.

5. Состояние окружающей среды на территории Карабашского городского округа и г. Верхний Уфалей, несмотря на предпринимаемые попытки модернизации или закрытия производств, остается неблагоприятным.

Список литературы

- [1] 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: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2017. URL: <http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/6620> (дата обращения 03.02.2020).
- [2] Экологический рейтинг федеральных округов Российской Федерации. Зеленый патруль. Осень 2019. URL: https://greenpatrol.ru/sites/default/files/pictures/prilozhenie_2_ekologicheskij_reyting_regionov_federalnye_okruga_osen_2019.docx (дата обращения 03.02.2020).
- [3] Экологический рейтинг субъектов Российской Федерации. Зеленый патруль. Осень 2019. URL: <https://greenpatrol.ru/ru/stranica-dlya-obshchego-reytinga/ekologicheskij-reyting-subektov-rf?tid=380> (дата обращения 03.02.2020).
- [4] Жилищно-коммунальное хозяйство и качество жизни в XXI веке: экономические модели, новые технологии и практики управления: коллективная монография / под ред. Я.П. Силина, Г.А. Астратовой. Москва; Екатеринбург: Изд. центр «Науковедение», 2017. 600 с.
- [5] Проблема экономической безопасности: теория и практика: коллективная монография / под ред. С.И. Колесникова. Екатеринбург: УГЛТУ, 2019. 167 с.
- [6] Методические рекомендации по выполнению оценки качества среды по состоянию живых существ (оценка стабильности живых организмов по уровню асимметрии морфологических структур). Утв. Распоряжением Росэкологии от 16.10.2003 № 460-р. URL: <https://base.garant.ru/2159808/> (дата обращения 03.02.2020).
- [7] Бачурина А.В., Куликова Е.А. Оценка качества среды на территории г. Новотроицка Оренбургской области по состоянию березы повислой // Леса России и хозяйство в них, 2019. № 2 (69). С. 30–37.
- [8] Минакова Е.А., Шлычков А.П., Шайхиев И.Г. Оценка окружающей среды урбосистемы г. Казань с использованием метода биоиндикации: природоохранные территории // Вестник технологического университета, 2015. Т. 18. № 17. С. 225–229.
- [9] Савинцева Л.С., Егошина Т.Л., Ширяев В.В. Оценка качества урбаносреды г. Кирова на основе анализа флуктуирующей асимметрии листовой пластинки березы повислой (*Betula pendula* Roth.) // Вестник Удмуртского университета, 2012. № 2. С. 31–37.
- [10] Волчатова И.В., Попова Н.А. Оценка стабильности развития древесных растений в условиях антропогенного воздействия // XXI век. Техносферная безопасность, 2018. Т. 3. № 1. С. 43–55.
- [11] Залесов С.В., Азбаев Б.О., Белов Л.А., Суюндиков Ж.О., Залесова Е.С., Оплетаяев А.С. Использование показателей флуктуирующей асимметрии березы повислой для оценки ее состояния // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 5. С. 742.
- [12] Залесов С.В., Бачурина А.В., Швелелина А.О. Оценка стабильности состояния березы на различном удалении от ОАО «Уфалейникель» // Леса России и хозяйство в них, 2017. № 1 (64). С. 21–27.
- [13] Залесов С.В., Бачурина А.В. Оценка качества окружающей среды на территории Карабашского городского округа по состоянию березы повислой // Использование и охрана природных ресурсов в России, 2019. № 2 (158). С. 38–41.
- [14] Кряжева Н.Г., Чистякова Е.К., Захарова В.М. Анализ стабильности развития березы повислой в условиях химического загрязнения // Экология, 1996. № 6. С. 441–444.
- [15] Gowart N.M., Graham J.H. Within-and among-individual variation in fluctuating asymmetry of leaves in the fig (*Ficus carica* L.) // International J. of Plant Sciences, 1999, no. 160, pp. 116–121.
- [16] Бунькова Н.П., Залесов С.В., Зотеева Е.А., Магасумова А.Г. Основы фитомониторинга. Екатеринбург: УГЛТУ, 2011. 89 с.
- [17] Данчева А.В., Залесов С.В. Экологический мониторинг лесных насаждений рекреационного назначения. Екатеринбург: УГЛТУ, 2015. 152 с.
- [18] Захаров В.М., Баранов А.С., Борисов В.И. Здоровье среды: методы оценки. М.: Центр экологической политики России, 2000. 68 с.
- [19] Михеев А.Н. Лесная рекультивация нарушенных земель горных склонов в зоне влияния медеплавильного производства (на примере ЗАО «Карабашмедь»): Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Екатеринбург, 2013. 24 с.
- [20] Швелелина А.О., Бачурина А.В. Влияние промышленных поллютантов ОАО «Уфалейникель» на санитарное состояние древостоев прилегающих сосняков // УГЛТУ в решении социальных и лесоводственно-экологических проблем лесного комплекса Урала и Западной Сибири. Материалы XIII Всерос. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов Ин-та леса и природопользования. Екатеринбург: УГЛТУ, 2017. С. 224–227.
- [21] Михеев А.Н., Залесов С.В. Опыт лесной рекультивации в работе медеплавильного завода ЗАО «Карабашмедь» // Аграрный вестник Урала, 2013. № 4 (110). С. 44–45.

Сведения об авторах

Бачурина Анна Владимировна — канд. с.-х. наук, доцент кафедры лесоводства ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», 9502011169@mail.ru

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

Поступила в редакцию 12.02.2020.

Принята к публикации 10.04.2020.

BIOINDICATION METHOD APPLICATION TO ASSESS ENVIRONMENT QUALITY OF INDUSTRIAL CITIES IN THE URALS

A.V. Bachurina, S.V. Zalesov

Ural State Forest Engineering University, 37, Sibirsky tract, 620100, Ekaterinburg, Russia

Zalesov@usfeu.ru

On the base of biologic indication method an attempt has been made to assess the environment quality near industrial enterprises of the Ural region. The study is based on the method of trial plots and fluctuating asymmetry of hanging birch (*Betula pendula* Roth.) leaf blades. The studies have been carried out in the zone of industrial pollutant of «Karabashmed oil enterprise» and «Ufaleynickel» influence. Industrial pollutants of these enterprises are varied significantly in composition. Around the corporation «Karabashmed» carbon oxides, oxides of copper and zink, lead, arsenic, nitrogen dioxide, inorganic dust and some others are present in the composition oil industrial discharge. As for enterprise «Ufaleynickel» sulphur dioxide, inorganic dust, benzopyrene copper oldie, nickel and some others. The study was established to be highly effective as concerns the metalloids of fluctuating asymmetry of hanging birch leaf blades for environment quality estimation. On the territory of Karabash Urban district the state of the environment is characterized by insignificant deviation from the norm and within the boundaries of Ufaley town away at a distance of 7,6 km the enterprise as a critical. Herewith at a distance of more than 10 km only initial deviation from the norm was revealed. In general it can be noted that the state of the environment despite attempts to modernize or liquidate a harmful enterprise on the territory of Karabash Urban district and Ufaley settlement remains unfavourable.

Keywords: corporation «Karabashmedy», OC «Ufaleynickel», environment quality, hanging birch, fluctuating asymmetry, asymmetry integral indicator, leaf beadle, industrial pollutants

Suggested citation: 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

References

- [1] Zalesov S.V., Bachurina A.V., Bachurina S.V. *Sostoyaniye lesnykh nasazhdeniy, podverzhennykh vliyaniyu promyshlennykh pollutantov ZAO «Karabashmed», i reaktsiya ikh komponentov na provedeniye rubok obnoveniya* [The state of forest stands subject to the influence of industrial pollutants of CJSC «Karabashmed», and the reaction of their components to cutting updates] [Electronic resource]. Ekaterinburg: Ural State Forest Engineering University, 2017. Available at: <http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/6620> (accessed 03.02.2020).
- [2] *Ekologicheskiy reyting federal'nykh okrugov Rossiyskoy Federatsii. Zelenyy patrol'. Osen' 2019* [Environmental rating of the federal districts of the Russian Federation. Green patrol. Autumn 2019]. Available at: https://greenpatrol.ru/sites/default/files/pictures/prilozhenie_2_ekologicheskiy_reyting_regionov_federalnye_okruga_osen_2019.docx (accessed 03.02.2020).
- [3] *Ekologicheskiy reyting sub'yektov Rossiyskoy Federatsii. Zelenyy patrol'. Osen' 2019*. [Environmental rating of the constituent entities of the Russian Federation. Green patrol. Autumn 2019]. Available at: <https://greenpatrol.ru/stranica-dlya-obshchego-reytinga/ekologicheskiy-reyting-subektov-rt?tid=380> (accessed 03.02.2020).
- [4] *Zhilishchno-kommunal'noye khozyaystvo i kachestvo zhizni v XXI veke: ekonomicheskiye modeli, novyye tekhnologii i praktiki upravleniya: kollektivnaya monografiya* [Housing and utilities and the quality of life in the XXI century: economic models, new technologies and management practices: a collective monograph]. Ed. I.P. Silin, G.A. Astratova. Moscow, Ekaterinburg: Center «Science of Science», 2017, 600 p.
- [5] *Problema ekonomicheskoy bezopasnosti: teoriya i praktika: kollektivnaya monografiya* [The problem of economic security: theory and practice: collective monography]. Ed. S.I. Kolesnikov. Ekaterinburg: Ural State Forest Engineering University, 2019, 16 p.
- [6] *Metodicheskiye rekomendatsii po vypolneniyu otsenki kachestva sredy po sostoyaniyu zhivykh sushchestv (otsenka stabil'nosti zhivykh organizmov po urovnyu asimmetrii morfoloicheskikh struktur)* [Guidelines for assessing the quality of the environment according to the state of living things (assessment of the stability of living organisms according to the level of asymmetry of morphological structures)]. Approved By the order of the Russian Ecology of October 16, 2003 No. 460-r. Available at: <https://base.garant.ru/2159808/> (accessed 03.02.2020).

- [7] Bachurina A.V., Kulikova E.A. *Otsenka kachestva sredy na territorii g. Novotroitska Orenburgskoy oblasti po sostoyaniyu berezy povisloy* [Assessment of environmental quality in the territory of the Novotroitsk Orenburg region according to the state of the birch hanging]. Forests of Russia and the economy in them, 2019, no. 2 (69), pp. 30–37.
- [8] Minakova E.A., Shlychikov A.P., Shaikhiyev I.G. *Otsenka okruzhayushchey sredy urbosistemy g. Kazan' s ispol'zovaniyem metoda bioindikatsii: pridorozhnyye territorii* [Environmental assessment of the urban system of Kazan using the bioindication method: roadside territories]. Bulletin of the Technological University, 2015, v. 18, no. 17, pp. 225–229.
- [9] Savintseva L.S., Egoshina T.L., Shiryayev V.V. *Otsenka kachestva urbanosredy g. Kirova na osnove analiza fluktuiruyushchey asimmetrii listovoy plastinki berezy povisloy (Betula pendula Roth.)* [Quality assessment of the urban environment of the city of Kirov based on the analysis of fluctuating asymmetry of the leaf blade of birch bent (*Betula pendula* Roth.)]. Bulletin of Udmurt University, 2012, no. 2, pp. 31–37.
- [10] Volchatova I.V., Popova N.A. *Otsenka stabil'nosti razvitiya drevesnykh rasteniy v usloviyakh antropogennogo vozdeystviya* [Assessment of the stability of the development of woody plants under anthropogenic impact]. XXI century. Technosphere Security, 2018, v. 3, no. 1, pp. 43–55.
- [11] Zalesov S.V., Azbaev B.O., Belov L.A., Suyundikov Zh.O., Zalesova E.S., Opletaev A.S. *Ispol'zovaniye pokazateley fluktuiruyushchey asimmetrii berezy povisloy dlya otsenki yeye sostoyaniya* [The use of indicators of fluctuating asymmetry of birch hanging to assess its condition]. Modern problems of science and education, 2014, no. 5, p. 742.
- [12] Zalesov S.V., Bachurina A.V., Shevelina A.O. *Otsenka stabil'nosti sostoyaniya berezy na razlichnom udalenii ot OAO «Ufaleynikel'»* [Assessment of the stability of the state of birch at different distances from Ufaleinikel]. Forests of Russia and the economy in them, 2017, no. 1 (64), pp. 21–27.
- [13] Zalesov S.V., Bachurina A.V. *Otsenka kachestva okruzhayushchey sredy na territorii Karabashskogo gorodskogo okruga po sostoyaniyu berezy povisloy* [Assessment of environmental quality in the territory of the Karabash urban district as birch hanging]. Use and protection of natural resources in Russia, 2019, no. 2 (158), pp. 38–41.
- [14] Kryazheva N.G., Chistyakova E.K., Zakharova V.M. *Analiz stabi'nosti razvitiya berezy povisloy v usloviyakh khimicheskogo zagryazneniya* [Analysis of the stability of the development of birch saggy under conditions of chemical pollution]. Ecology, 1996, no. 6, pp. 441–444.
- [15] Gowart N.M., Graham J.H. Within-and among-individual variation in fluctuating asymmetry of leaves in the fig (*Ficus carica* L.). International J. of Plant Sciences, 1999, no. 160, pp. 116–121.
- [16] Bunkova N.P., Zalesov S.V., Zoteeva E.A., Magasumova A.G. *Osnovy fitomonitoringa* [The basics of phytomonitoring]. Ekaterinburg: Ural State Forest Engineering University, 2011, 89 p.
- [17] Dancheva A.V., Zalesov S.V. *Ekologicheskiy monitoring lesnykh nasazhdeniy re-kreationsnogo naznacheniya* [Ecological monitoring of forest stands for recreational purposes]. Ekaterinburg: Ural State Forest Engineering University, 2015, 152 p.
- [18] Zakharov V.M., Baranov A.S., Borisov V.I. *Zdorov'ye sredy: metody otsenki* [Environmental health: assessment methods]. Moscow: Center for Environmental Policy of Russia, 2000, 68 p.
- [19] Mikheev A.N. *Lesnaya rekul'tivatsiya narushennykh zemel' gornyykh sklonov v zone vliyaniya medeplavil'nogo proizvodstva (na primere ZAO «Karabashmed'»)* [Forest reclamation of disturbed lands on mountain slopes in the zone of influence of copper smelting (for example, «Karabashmed»). Author. dis. ... Cand. Sci. (Agric.). Ekaterinburg, 2013, 24 p.
- [20] Shevelina A.O., Bachurina A.V. *Vliyaniye promyshlennykh pollyutantov OAO «Ufaleynikel'» na sanitarnoye sostoyaniye drevostoyev prilgayushchikh sosnyakov* [The influence of industrial pollutants of OJSC «Ufaleinikel'» on the sanitary condition of forest stands of adjacent pine forests]. UGLTU in solving social, forestry and environmental problems of the forest complex of the Urals and Western Siberia. XIII All-Russian scientific tech. conf. undergraduate and graduate students of the Institute of Forest and Nature Management. Ekaterinburg: Ural State Forest Engineering University, 2017, pp. 224–227.
- [21] Mikheev A.N., Zalesov S.V. *Opyt lesnoy rekul'tivatsii v rabote medeplavil'nogo zavoda ZAO «Karabashmed'»* [The experience of forest reclamation in the operation of the smelter of CJSC «Karabashmed»). Agrarian Bulletin of the Urals, 2013, no. 4 (110), pp. 44–45.

Authors' information

Bachurina Anna Vladimirovna — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Forestry Chair of the Ural State Forest Engineering University, 9502011169@mail.ru

Zalesov Sergey Veniaminovich — Dr. Sci. (Agriculture), Professor, Head of the Forestry Chair of the Ural State Forest Engineering University, Zalesov@usfeu.ru

Received 12.02.2020.

Accepted for publication 10.04.2020.

НОВЕЙШИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ТАКСАЦИИ ЗАГОТОВЛЕННЫХ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ КАК ЭЛЕМЕНТ ПРЕЦИЗИОННОГО ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА

Н.Л. Беляев, С.Ф. Сафаргалиева

Тимбетер ОЮ / Timbeter OÜ, 12618, Akadeemia tee 21/1, Таллинн, Эстония

nikolai@timbeter.com

Рассмотрен фотографический метод измерения круглого леса с использованием искусственного интеллекта и алгоритмов машинного обучения. Современные технологии, использующие алгоритмы искусственного интеллекта, предлагают новые, связанные с инвентаризацией заготовленного леса, возможности для измерения древесины, распознавания торцов бревен, опции для подсчета и измерения. Предлагаемые соответствующими мобильными приложениями эффективные инструменты для более подробного и точного измерения объемов заготовленного леса могут помочь правильно оценить запас растущего леса и его сортиментную структуру. Показано, что современные технологии могут помочь в повышении производительности, достоверности результатов, снижении затрат и облегчении ручного труда при измерении объемов круглого леса.

Ключевые слова: таксация круглого леса, методы измерения объема лесоматериалов, распознавание торцов, мобильное приложение, оптико-электронный учет, сортиментация, искусственный интеллект, машинное обучение

Ссылка для цитирования: Беляев Н.Л., Сафаргалиева С.Ф. Новейшие технологии в таксации заготовленных лесоматериалов как элемент прецизионного лесного хозяйства // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 3. С. 18–25. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-3-18-25

Новейшие технологии все глубже проникают в лесную сферу экономики. В XXI в. лесной кластер стоит на пороге внедрения в повседневную практику всего накопленного в наиболее передовых отраслях арсенала современной науки и техники. Искусственный интеллект, машинное обучение, нейронные сети, блокчейн, цифровое моделирование воплощаются в таких примерах, как цифровые двойники, виртуальная и дополненная реальность, экзоскелеты, носимые гаджеты, беспилотные летательные аппараты или наземные машины и механизмы. Термин «прецизионное лесное хозяйство» (precision forestry), пришедший к нам из сельского хозяйства и высокотехнологичных отраслей, отражает высокую точность, машинный интеллект и весь спектр цифровых технологий, привносящий новую реальность, в том числе и в наши лесные ландшафты.

В 2019 г. отмечалось 150-летие со дня рождения выдающегося ученого и практика конца XIX начала XX в. А.А. Крюденера. Одним из его выдающихся трудов, отмеченных присвоением высшего гражданского чина действительного статского советника, являются таблицы объемов бревен [1–4], изданные им в 1913 г. для вычисления объема еловых комлевых бревен по верхнему диаметру. Это — основа применяемого и ныне для всех пород стандарта ГОСТ 2708–75 «Лесоматериалы круглые. Таблицы объемов». До отмены в начале 1990-х гг. обязательного применения стандартов таблицы объемов бревен по ГОСТ 2708–75 оставались единственным и обязательным методом поштучного учета бревен

на всей территории СССР. Однако в ГОСТ 2708–75, в отличие от таблиц А.А. Крюденера, не был предусмотрен учет погрешностей определения объема бревен, обусловленных отклонениями сбегая отдельных бревен партии, а также вследствие влияния породы и условий произрастания.

В настоящее время отсутствует единая методика по определению объема круглого леса. При наличии множества групповых и поштучных методов измерения отсутствует утвержденный и общепринятый эталонный кубический метр, относительно которого сравнивались бы все объемы, полученные другими методами, и разрешались бы спорные ситуации. Например, А.К. Курицын в справочном пособии «Круглые лесоматериалы» отмечает, что «статус государственных стандартов за последние 12 лет претерпел существенные изменения. До 1993 г. (как было уже отмечено выше) соблюдение стандартов было обязательным, а их тексты начинались с предупреждения: «Несоблюдение стандарта преследуется по закону». С 1993 по 2003 г. в России действовал закон «О стандартизации», который предусматривал общее разграничение требований государственных стандартов на обязательные и рекомендуемые. [...] С 1 июля 2003 г. вместо закона «О стандартизации» действует новый закон «О техническом регулировании». В этом законе не предусмотрено дальнейшее применение государственных стандартов. Обязательные требования к продукции и услугам теперь должны содержаться в технических регламентах, а для

изложения необязательных требований следует использовать национальные стандарты и стандарты организаций. [...] Статья 12 закона «О техническом регулировании» декларирует принцип добровольного применения стандартов, а в статье 15 предусмотрено: «Национальный стандарт применяется на добровольной основе равным образом и в равной мере независимо от страны и (или) места происхождения продукции, осуществления процессов производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнения работ и оказания услуг, видов или особенностей сделок и (или) лиц, являющихся изготовителями, исполнителями, продавцами, приобретателями» [8].

Кроме того, отсутствуют и единые нормативы допустимых погрешностей в измерении объемов лесоматериалов, как это принято, например, в скандинавских странах. А.Н. Самойлов также отмечает, что традиционные контактные методы измерения имеют ошибку, «достигающую существенных величин», которая напрямую связана с человеческим фактором; этот фактор, в свою очередь, «может привести к погрешностям сколь угодно больших размеров» [10, 11].

Решением перечисленных выше и других вопросов таксации заготовленного леса призван стать разрабатываемый в настоящее время Центром стандартизации и сертификации круглых лесоматериалов и пиломатериалов ООО «Лесэксперт» государственный стандарт «Лесоматериалы круглые. Организация и методы учета». Этот документ предполагает закрепить в качестве эталонного или опорного метода определения объема круглых лесоматериалов (КЛМ) методом концевых сечений, который, с одной стороны, нивелирует погрешности, связанные с высокой вариативностью сбега относительно модельных стволов/бревен, а с другой — применим как при ручном, так и автоматизированном способах измерения [11].

Цель работы

Цель работы — рассмотрение фотографического метода измерения круглого леса с использованием искусственного интеллекта и алгоритмов машинного обучения, разработанного компанией Timbeter. Данный метод распознавания торцов бревен в штабеле используется в одноименном мобильном приложении для съемки, соответствующей обработки и измерения линейных, плоскостных и объемных величин по изображению штабеля. В этой работе последовательно рассмотрим особенности алгоритмов измерения, возможные сложности при работе с фотографическим методом, а также преимущества цифровых методов измерения круглого леса и последующей работы с данными. На примере программы Timbeter также рассмотрим, как современные

технологии могут способствовать повышению производительности, достоверности результатов, снижению затрат и облегчению ручного труда при измерении объемов круглого леса.

Материалы и методы

Фотографический метод измерения и алгоритм распознавания круглого леса. Компания Timbeter разработала алгоритм обнаружения бревен в штабеле по фото на основе машинного обучения, созданный Мартином Камблом и Танелем Сирпом [12–13].

Известен алгоритм, распознавания лица на фото, а на лице — улыбки. Алгоритм Timbeter подобным образом распознает бревна на фотографии, что позволяет получать точную информацию о диаметре отдельных бревен, объеме и плотности штабелей и о количестве бревен в штабеле.

В словаре «Международный стандарт. Лесоматериалы — круглые и пиленые лесоматериалы» раскрыто понятие фотографического метода определения объема, как «геометрического определения объема круглых лесоматериалов (4.11) по габаритам и полндревесности штабеля (4.26) по его фотографии с учетом их длины» [14].

Процесс распознавания каждого бревна на фото проходит в пять этапов и длится 30 с. Бревна отбираются, объединяются в реальные изображения, которые фильтруются и калибруются. Пошаговый процесс распознавания происходит следующим образом:

Этап 1

«Кандидаты на бревно» обрабатываются методом «скользящего окна». Метод сводит проблему распознавания объекта к проблеме классификации образов. Изображение разбивается на квадраты, каждый квадрат сканируется; при попадании в квадрат бревно маркируется как «вероятно, бревно». Всего классификаций три: «нет, не бревно», «возможно, бревно» и «вероятно, бревно».

Этап 2

Одно и то же бревно можно обнаружить несколько раз, поэтому «кандидаты» с похожими положительными классификациями («вероятно, бревно») объединяются в одно распознавание. Размер и расположение бревна на фото определяется по формуле взвешенного среднего арифметического, которая применяется к «кандидатам» с похожими положительными маркерами.

Этап 3

Все то, что «не бревно», удаляется. Бревна малого диаметра, скорее всего, ложные. «Кандидаты», отстоящие от других по вероятностным характеристикам, тоже, скорее всего, бревнами не являются или они не из штабеля. Учитываются такие факторы, как изначальные маркеры вероятности и пересечение положительных вероятностей.

Этап 4

Очистка улучшает точность диаметра распознанных бревен и применяется к нескольким сотням обнаружений, за счет чего задействуется большая вычислительная мощность и результат становится точнее.

Этап 5

Вторичное распознавание методом скользящего окна, но с существенным отличием от этапа 1: вторичный детектор ищет только бревна, подобные уже найденным. Вторичный детектор работает только с теми областями фото, на которых было обнаружено бревно на этапе 1.

Такой многоэтапный подход обеспечивает получение точных результатов за короткое время даже на мобильных телефонах и планшетах. Хотя на персональном компьютере (ПК) возможно запустить более мощные алгоритмы, Timberer сделал выбор в пользу мгновенных результатов измерений: пользователь может находиться в лесу без подключения к интернету; при этом в дальнейшем (после синхронизации устройства) он также может работать с данными, полученными в результате измерений на ПК. Помимо этого фотооптическое измерение круглого леса, основанное на алгоритмах искусственного интеллекта и технологии машинного обучения, позволяет определять область контура бревна под корой на основании более чем 2000 точек. Timberer конвертирует эту область в симметричный круг, и на этом основании высчитывает значение среднего диаметра. Технология была разработана для измерения поверхности бревен как можно точнее путем конвертации неправильной формы контура в идеальный круг [15, 16].

Однако при сравнении ручного и цифрового методов возможны расхождения, поскольку бревна не бывают идеально круглыми или симметричными. Возникает вопрос: что важнее при рассмотрении — максимизация стоимости или ценность каждого бревна?

Проблема заключается в том, что инновационные методы измерения круглого леса контролируются и оцениваются исключительно старыми ручными методами, которые были разработаны более 100 лет тому назад. Эти методы, по сравнению с возможностями современных технологий, гораздо более ограничены, поскольку основывались на довольно узком наборе образцов для тестирования. Инновационные технологии позволяют измерить каждое бревно гораздо объективнее — может ли ручное измерения сравниться с цифровым, которое использует по меньшей мере 2000 точек для распознавания и измерения отдельного бревна? Очевидно, что результаты, основанные на электронных доказательствах и полученные с помощью механизмов искусствен-

ного интеллекта, предоставляют пользователям куда более прозрачную информацию и эффективный контроль качества [16–18].

По сравнению с тем случаем, когда человек измеряет бревна вручную, с известной долей субъективности, фотооптический инструмент всегда измеряет бревна одинаково и объективно. Обнаружение и распознавание бревен с помощью алгоритмов машинного обучения и искусственного интеллекта обеспечивает объективность результатов и не зависит от того, кто проводит измерения. Некоторые устройства дают нам лучший результат распознавания (камера с разрешением 13 мегапикселей — минимальное требование Timberer), а сам процесс распознавания всегда происходит одинаково независимо от устройства [19].

Сложности использования метода. Внедрение фотографического метода связано с некоторыми сложностями, которые прямо зависят от особенностей самого метода. В частности, качество штабеля может повлиять на результаты измерения, основанного на визуальных данных. Так, объекты, находящиеся ближе к камере, на фото будут казаться больше, а диаметр бревен, которые выходят за пределы штабеля, увеличится, в случае бревен, которые находятся в глубине штабеля, уменьшится.

Размер объекта в одном измерении на изображении определяют по формуле

$$size_{onScreen} = \frac{size_{real} \cdot size_{screen}}{2 \cdot distance \cdot \tan \frac{fov}{2}}, \quad (1)$$

где $size_{onScreen}$ — размер объекта на изображении;
 $size_{real}$ — реальный размер объекта;
 $size_{screen}$ — размер изображения в пикселях;
 $distance$ — расстояние между объектом и камерой;
 fov — поле зрения камеры.

Размер экрана устройства, поле зрения камеры и реальные размеры бревен — это константы, не зависящие от приближения или удаления к фотокамере при измерении. Формулу (1) можно упростить, показав, как выступающие из штабеля бревна способны исказить результат измерения

$$\begin{aligned} coef_{error} &= \frac{size_{protruding}}{size_{level}} = \frac{size_{real} \cdot distance_{pile}}{distance_{log} \cdot size_{real}} = \\ &= \frac{distance_{pile}}{distance_{log}} = \frac{distance_{pile}}{distance_{log} - offset_{log}} = \\ &= \frac{1}{1 - \frac{offset_{log}}{distance_{pile}}} = \frac{1}{1 - coef_{offset}}, \end{aligned} \quad (2)$$

где $coef_{error}$ — коэффициент завышения результата (значения диаметра бревна);

$size_{protruding}$ — диаметр бревна, измеренный по изображению, когда бревно выступает за пределы штабеля;

$size_{level}$ — диаметр бревна, измеренный по изображению, когда бревно находится на одном уровне с остальными бревнами штабеля;

$size_{real}$ — реальный диаметр бревна;

$distance_{pile}$ — расстояние между камерой и штабелем;

$distance_{log}$ — расстояние между камерой и бревном;

$offset_{log}$ — значение выступа бревна за пределы штабеля;

$coef_{offset}$ — коэффициент выступа бревна за пределы штабеля.

Формула (2) показывает, что размер диаметра на изображении обратно пропорционален расстоянию от камеры: чем меньше расстояние до объекта, тем больше он выглядит на фото. Таким образом, если бревно находится в 2 раза ближе к камере, оно будет выглядеть в 2 раза больше. Например, измеряющий делает фотографию с расстояния 2 м, а бревно при этом выступает за пределы штабеля на 20 см, то диаметр бревна на фотографии будет завышен на 11,1 %. Кроме того, формула показывает, что во избежание погрешностей в измерениях отдельных бревен в штабеле измеряющему необходимо просто отойти дальше от штабеля. Так, если бревно выступает на 20 см, и вы делаете фото с расстояния 4 м, то диаметр будет завышен только на 5,3 %.

Результат измерения среднего диаметра бревен мало зависит от качества укладки штабеля, учитывая, что качество распознавания не изменилось. Можно подсчитать значение среднего диаметра двух бревен (реальный диаметр которых составляет 30 см), когда штабель находится на расстоянии 2 м от камеры; при этом одно бревно выступает на 20 см, тогда как второе находится на 20 см глубже остальных бревен в штабеле

$$average = \frac{(diameter_1 + diameter_2)}{2} = \frac{\left(\frac{30}{1 - \frac{20}{200}} + \frac{30}{1 + \frac{20}{200}}\right)}{2} = \frac{33,33 + 27,27}{2} = 30,30, \quad (3)$$

где $average$ — средний диаметр бревна на изображении;

$diameter_1$ — диаметр первого бревна на изображении;

$diameter_2$ — диаметр второго бревна на изображении.

Как видно из формулы (3), среднее измерение для этих двух бревен будет завышено на 1 %. Однако это произойдет только в случае с двумя наиболее удаленными бревнами. Значение диаметра большинства бревен в штабеле будет существенно ближе к среднему значению. Принимая за условие одинаковое расположение бревен, можно получить средний показатель расхождения в измерениях реального штабеля, используя формулу

$$coef_{error} = \frac{\int_{-coef_{offset}}^{coef_{offset}} \frac{1}{1-x} dx}{2 \cdot coef_{offset}}, \quad (4)$$

где $average$ — значение среднего диаметра на изображении;

$coef$ — показатель отличия диаметра подобных разноудаленных бревен от среднего диаметра по штабелю по сравнению с расстоянием до фотокамеры.

В штабеле, измеренном с расстояния 2 м, в котором бревна удалены от среднего положения по штабелю на 20 см (что означает, что коэффициент смещения составляет 0,1), обнаруживается, что завышение составляет только 0,34 %. Более того, если фотография сделана с расстояния, которое в 2 раза больше, погрешность измерения сокращается в 4 раза. В случае, когда фотография штабеля сделана с расстояния 4 м, среднее значение диаметра будет завышено на 0,083 %.

Неровно уложенные штабели влияют на результаты измерения объема больше, чем на результаты измерения диаметра бревен, но эта погрешность все же ограничена. Они отличаются, потому что необходимо возвести в квадрат значение диаметра, для вычисления площади поверхности и объема бревна, что изменяет соотношение между этими значениями.

Чтобы посчитать погрешность в измерении объема неровного штабеля, можно использовать формулу

$$coef_{error} = \frac{\int_{-coef_{offset}}^{coef_{offset}} \frac{1}{(1-x)^2} dx}{2 \cdot coef_{offset}}, \quad (5)$$

где $coef_{error}$ — показатель преувеличения объема; $coef_{offset}$ — показатель выступа удаления бревна от основного штабеля относительно расстояния до камеры.

Если измеряющий находится в 2 м от штабеля, в котором некоторые бревна либо выступают вперед на 20 см, либо находятся в углублении на 20 см, то превышение общего объема составит 1,0 %. Увеличение расстояния между штабелем и

камерой в 2 раза приводит к уменьшению ошибки в 4 раза. Если предыдущий штабель сфотографировать с расстояния 4 м, то превышение общего объема штабеля составит всего 0,25 %.

Подводя итог, отметим, что качество укладки штабеля влияет на результаты измерения, в зависимости от того, какой именно результат измерения нужно получить. Так, например, значение диаметра отдельных бревен в штабеле сильно зависит от качества их укладки в штабеле, однако это не отразится на значении среднего диаметра бревен по штабелю. Что касается измерения объемов, большинство пользователей увидят, что измерения точные. Но в том случае, когда штабель очень неровный, и измеряющий фотографирует, находясь очень близко к штабелю, фотооптический метод измерения допускает искажения, которые отражаются на результатах измерения. В целях минимизации ошибок, вызванных низким качеством укладки штабеля, измеряющему необходимо увеличить расстояние между используемым устройством и штабелем.

Кроме того, практически полностью исключить возможные искажения при измерениях позволяет использование QR-кодов в качестве эталона, предоставляемых пользователям Timbeter. Это не только устраняет необходимость использования измерительного эталона, но и содействует при не вполне ровной укладке штабеля, когда расстояния между концами бревен и фотокамерой сильно отличаются: QR-коды позволяют выравнивать возможные искажения.

Преимущества Timbeter и опыт успешного использования искусственного интеллекта для работы с круглым лесом. Переход с ручного измерения древесины на цифровое изначально может показаться сложным, принимая во внимания сложности при использовании фотографического метода измерения круглого леса, которые были рассмотрены выше, тем не менее, преимущества работы с программой очевидны.

Во-первых, цифровые измерения обеспечивают быстрый и простой обмен информацией, а измерение леса вручную занимает много времени. Данные о результатах измерения из леса или цифровых суппортов обычно поступают достаточно медленно, что отражается на работе последующих цепочек поставок (на продаже, логистике, бухгалтерии). В случае получения информации в режиме реального времени все участники цепочки поставок могут начать свою работу одновременно. Кроме того, постоянный доступ к данным позволяет оперативно реагировать на любые неожиданные результаты, например, на нехватку или избыток какого-либо сорта, на грузы с большим количеством брака и т. д. — вся эта информация оказывается моментально доступной для

работников, принимающих решения. С. Смоляк, IT-специалист деревообрабатывающего завода полного цикла «Красный Октябрь», отмечает, что «возможность иметь оперативную информацию о приемке, наглядное подтверждение данных (речь идет о продукте «Складской Модуль» — примечание Timbeter), оценивать качество произведенных измерений, тем самым минимизировать человеческий фактор, — это уникальная возможность для отчетности по заготовленному, перевезенному или принятому объему бревен». Кроме того, на измерение 30 м³ круглого леса вручную и запись результатов требуется примерно 45 мин, в то время как с приложением Timbeter на это уйдет 2–3 мин. Таким образом, цифровые измерения леса существенно экономят время.

Внедрение искусственной нейронной сети в программу Timbeter в начале 2018 г. сделало распознавание намного надежнее; быстрый механизм подсказок был также интегрирован в программу Timbeter, что позволило главному алгоритму быстрее обнаружить ориентировочные размеры и позиции распределения бревен. Это дало возможность пропускать области изображения, в которых бревна точно отсутствуют. Испытания показали, что снижения производительности не произошло, а точность результатов значительно повысилась.

В 2019 г. алгоритм распознавания Timbeter стал еще лучше: скорость увеличилась в 2,5–3 раза по сравнению с предыдущей версией приложения (и в 6 раз по сравнению с версиями до внедрения нейронной сети). Поскольку распознавание занимает 1–5 с на быстрых устройствах, разработчики провели стресс-тест. Для этого загрузили несколько сотен тестовых изображений на самое быстрое устройство на базе Android, после чего был запущен механизм распознавания и измерения. Результат стресс-теста показал, что обнаружение 131 910 бревен заняло 1698 с, т. е. 28 мин. Таким образом, обнаружение составляет 280 000 бревен/ч, в то время как результат ручного измерения составляет всего лишь около 200 бревен/ч.

Конечно, возможны проблемы с интернет-покрытием на конкретной местности, однако синхронизация данных при доступе к интернету происходит быстро, соответственно, при измерении древесины и работе с данными существенно экономится рабочее время. Также некоторые клиенты Timbeter используют данные для сбора измерений из всех хранилищ леса для планирования их логистики на следующий день.

Во-вторых, подобное цифровое измерение устраняет человеческий фактор. Все, кто работает с большими объемами лесоматериалов, знают, что человеческий фактор сопровождает

непосредственно процесс измерения и процесс обработки данных, в результате чего могут быть неточно измерены бревна, неправильно записаны результаты и неверно введены данные в систему. Кроме того, обнаружить ошибку в электронных таблицах Excel достаточно сложно, особенно по прошествии времени. Цифровой метод программы Timbeter позволяет проверить каждое измерение, так как все результаты поступают в облачное хранилище сразу после синхронизации устройства. Это позволяет легко обнаружить ошибку и провести повторные измерения для ее устранения.

В-третьих, вместе с устранением человеческого фактора программа Timbeter обеспечивает прозрачность измерений — объективность и правильность измерений нет необходимости оспаривать, а в случае разногласий всегда есть электронные доказательства: каждую фотографию можно измерить повторно.

И наконец, в-четвертых, оптимизация рабочего процесса неизбежно влияет на сокращение расходов и увеличение прибыли, что наглядно демонстрирует пользовательский опыт чилийской компании CMPC: помимо ожидаемого сокращения расходов, связанных с обработкой данных и логистическим процессом, «побочной» выгодой стало сокращение количества используемой краски. Сэкономленный объем краски составляет 45 %, т. е. от 45 т в год, как сообщает Х. Тобар, руководитель проектов CMPC — Чилийской целлюлозно-бумажной компании, крупнейшего мирового лидера по версии 2018 г. Forbes Global 2000 [20].

Благодаря Timbeter значительно уменьшается время на измерение леса и работу с данными. Инструменты Timbeter позволяют быстро и эффективно разделять сортименты древесины, распределять их на производстве и устанавливать их стоимость, точно определять объем леса, необходимый для погрузки, отслеживать грузы, организовывать логистику, что в конечном итоге оптимизирует производственные процессы и положительно сказывается на прибыли компании.

Выводы

Применение новейших технологий в сфере лесного хозяйства дает эффективные возможности при работе с круглым лесом, способствует оптимизации рабочих процессов и увеличению прибыли производств. Одним из таких инструментов является Timbeter — цифровое решение для измерения круглого леса и работы с данными. Успешно применяя алгоритмы машинного обучения и фотографический метод, Timbeter не просто предоставляет пользователям быстрые и точные данные об измерениях, таких, как диаметр отдельных бревен в штабеле, объем и плотность

штабелей, информация об общем количестве бревен в штабеле, значение среднего диаметра и т. д., но и значительно влияет на весь процесс работы с данными благодаря возможности мгновенной синхронизации всех данных об измерениях. Принимая во внимание особенности фотографического метода, соблюдение некоторых простых правил использования программы позволяет пользователям Timbeter получать точные результаты измерений, избегая человеческий фактор и улучшая рабочие процессы и коммуникацию как внутри одного производства, так и при сотрудничестве нескольких компаний. Следовательно, Timbeter становится новой и эффективной заменой старым методам для работы с круглым лесом и контролем над полученными данными.

Список литературы

- [1] Ковачева П., Анталова М. Прецизионное лесоводство — определение и технологии // Шумарски лист. Загреб, 2010. С. 603–611.
- [2] Мерзленко М.Д. Артур Артурович Крюденер // Устойчивое лесопользование, 2004. № 4 (6). С. 47–48.
- [3] Крюденер А.А. Основы классификации типов насаждений и их народнохозяйственное значение в обиходе страны. Петроград, 1916–1917. Ч. I–I. 318 с.
- [4] Мигунова Е.С. Создатели лесотипологической классификации А.А. Крюденер и Е.В. Алексеев // Лесное хозяйство, 2009. № 2. С. 13–14.
- [5] Правила учета древесины. URL: <https://base.garant.ru/70835668/> (дата обращения 12.10.2019).
- [6] ГОСТ 2708–75. Лесоматериалы круглые. Таблицы объемов. М.: Издательство стандартов, 1975. 36 с.
- [7] Поздняков Л.К. Лесное ресурсоведение. Новосибирск: Наука, 1973. 120 с.
- [8] Курицын А.К. Круглые лесоматериалы: справочное пособие. М.: ООО Лесэксперт, 2006, 153 с.
- [9] Курицын А.К. Единая методика измерения объема круглых лесоматериалов // ЛеспромИнформ, 2010, № 3 (69). С. 78.
- [10] Самойлов А.Н. Классификация и определение основных направлений развития методов измерения объема круглого лесоматериала // Политематический сетевой электронный научный журнал КубГАУ, 2006, № 24 (8). URL: <http://ej.kubagro.ru/2006/08/pdf/13.pdf> (дата обращения 12.10.2019).
- [11] Круглые лесоматериалы — 2019. Сортиментация древесины. Учет сортиментов: справочное пособие. URL: http://les.expert/2019/07/07/Roundwood_Handbook_2019.pdf/ (дата обращения 12.10.2019).
- [12] Хуанг Ю., Фух Ч. Распознавание лица и распознавание улыбки // Материалы Конференции IPPR по компьютерному зрению, графике и обработке визуальных данных. Тайвань, 2009.
- [13] Камбла М., Сирп Т. Аппарат обработки изображений и метод определения объема древесины в штабеле. URL: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2017114977&tab=PCTBIBLIO> (дата обращения 15.10.2019).
- [14] Международный стандарт. Лесоматериалы — круглые и пиленые лесоматериалы: словарь. 2013. С. 27–28. URL: http://les.expert/DOC/ISO_24294-2013.pdf (дата обращения 15.10.2019).

- [15] Сирп Т. Timbeter: за счет чего достигается точность измерения бревна? URL: <http://www.timbeter.com/ru/вы-задавались-вопросом-как-timbeter-правильн/> (дата обращения 01.10.2019).
- [16] Цахкна А.Г. Почему использование искусственного интеллекта эффективнее ручных измерений? URL: <http://www.timbeter.com/ru/почему-использование-искусственного/> (дата обращения 01.10.2019).
- [17] Ди Джузеппе Р. Человек может измерить 200 бревен в час. Timbeter измеряет 280 000. URL: <http://www.timbeter.com/ru/человек-может-измерить-200-бревен-в-час-timbeter/> (дата обращения 01.10.2019).
- [18] Сирп Т. Как качество штабеля влияет на результат измерений. URL: <http://www.timbeter.com/ru/как-качество-штабеля-влияет-на-результ/> (дата обращения 01.10.2019).
- [19] Смоляк С. Timbeter предоставляет возможность цифрового доказательства объема леса, и цена за эту уникальную возможность невысока. URL: <http://www.timbeter.com/ru/красный-октябрь-timbeter-предоставляет-во/> (дата обращения 15.10.2019).
- [20] Тобар Х. СМПС Чили: Timbeter помогает сохранить здоровье работников, сэкономить время и краску. URL: <http://www.timbeter.com/ru/смрс-чили-timbeter-помогает-сохранить-здоровье-р/> (дата обращения 15.10.2019).

Сведения об авторах

Беляев Николай Львович — инженер лесного хозяйства, nikolai@timbeter.com

Сафаргалиева Софья Фаридовна — сотр. клиентской поддержки Timbeter OÜ, sofya@timbeter.com

Поступила в редакцию 18.10.2019.

Принята к публикации 23.12.2019.

MODERN TECHNOLOGIES APPLIED TO ROUNDWOOD MATERIALS VALUATION AS A PART OF PRECISION FORESTRY

N.L. Belyaev, S.F. Safargalieva

Timbeter OÜ, 21/1, Akadeemia tee, 12618, Tallinn, Estonia

nikolai@timbeter.com

Artificial Intelligence based technology development offers new opportunities in timber measurement, related to harvested stock inventory. Log ends detection, recognition, counting and measurement features offered by relevant mobile application solutions based on AI and machine learning provide new tools for more detailed and accurate evaluation of logged volume, which can assist in a more correct assessment of growing stock and log assortment distribution.

Keywords: roundwood measurements, artificial intelligence, machine learning, mobile application, optoelectronic accounting, roundwood valuation

Suggested citation: Belyaev N.L., Safargalieva S.F. *Noveyshie tekhnologii v taksatsii zagotovlennykh lesomaterialov kak element pretsizionnogo lesnogo khozyaystva* [Modern technologies applied to roundwood materials valuation as a part of precision forestry]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 3, pp. 18–25.

DOI: 10.18698/2542-1468-2020-3-18-25

References

- [1] Kováčsová, P., Antalová M. *Pretsznoe lesovodstvo — opredelenie i tekhnologii* [Precision Forestry — Definition and Technologies]. Zagreb: Šumarski list br. 11–12, CXXXIV, 2010, pp. 603–611.
- [2] Merzlenko M.D. *Artur Arturovich Kryudener* [Arthur Arturovich Krudener]. Устойчивое лесопользование [Sustainable Forest Management], 2004, no. 4 (6), pp. 47–48.
- [3] Kryudener A.A. *Osnovy klassifikatsii tipov nasazhdeniy i ikh narodnokhozyaystvennoe znachenie v obikhode strany* [Fundamentals of classification of planting types and their economic importance in the everyday life of the country]. Saint Petersburg, 1916–1917, part I–I, 318 p.
- [4] Migunova E.S. *Sozdateli lesotipologicheskoy klassifikatsii A.A. Kryudener i E.V. Alekseev* [The creators of the forest typological classification A.A. Krudener and E.V. Alekseev]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry], 2009, no. 2, pp. 13–14.
- [5] *Pravila ucheta drevesiny* [Timber Accounting Rules]. Available at: <https://base.garant.ru/70835668/> (accessed 12.10.2019).
- [6] *GOST 2708–75. Lesomaterialy kruglye. Tablitsy ob'emov* [GOST 2708–75. Round timber. Tables of volumes]. Moscow: Publishing house of standards, 1975, 36 p.
- [7] Pozdnyakov L.K. *Lesnoe resursovedenie* [Forest Resource Management]. Novosibirsk: Nauka, 1973, 120 p.
- [8] Kuritsyn A.K. *Kruglye lesomaterialy. Spravochnoe posobie* [Round timber. Reference manual]. Moscow: LLC Lesekspert, 2006, 153 p.
- [9] Kuritsyn A.K. *Edinaya metodika izmereniya ob'ema kruglykh lesomaterialov* [Unified methodology for measuring the volume of round timber]. *LespromInform*, no. 3 (69), 2010, p. 78.

- [10] Samoylov A.N. *Klassifikatsiya i opredelenie osnovnykh napravleniy razvitiya metodov izmereniya ob'ema kruglogo lesomateriala* [Classification and determination of the main directions of development of methods for measuring the volume of round timber]. *Politematicheskii setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal KubGAU* [Political Mathematical Network Electronic Scientific Journal KubGAU], 2006, no. 24 (8). URL: <http://ej.kubagro.ru/2006/08/pdf/13.pdf> (accessed 12.10.2019).
- [11] *Kruglye lesomaterialy — 2019. Sortimentatsiya drevesiny. Uchet sortimentov: cpravochnoe posobie* [Round Timber — 2019. Sorting of timber. Assortment accounting: reference guide]. Available at: http://les.expert/2019/07/07/Roundwood_Handbook_2019.pdf/ (accessed 12.10.2019).
- [12] Khuang Yu., Fukh Ch. *Raspozvanie litsa i raspoznavanie ulybki* [Face recognition and smile recognition] *Materialy Konferentsii IPPR po komp'yuternomu zreniyu, grafike i obrabotke vizual'nykh dannykh* [Materials of the IPPR Conference on computer vision, graphics and visual data processing]. Taiwan, 2009.
- [13] Kambla M., Sirp T. *Apparat obrabotki izobrazheniy i metod opredeleniya ob'ema drevesiny v shtabele* [Image processing apparatus and method for determining the volume of wood in a stack]. Available at: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2017114977&tab=PCTBIBLIO> (accessed 15.10.2019).
- [14] *Mezhdunarodnyy standart. Lesomaterialy — Kruglye i pilenye lesomaterialy — Slovar'* [International Standard. Timber — Round and sawn timber — Vocabulary], 2013, pp. 27–28. Available at: http://les.expert/DOC/ISO_24294-2013.pdf (accessed 15.10.2019).
- [15] Sirp T. *Timbeter: za schet chego dostigaetsya tochnost' izmereniya brevna?* [Timbeter: How is log measurement accuracy achieved?] Available at: <http://www.timbeter.com/en/you-were-asked-as-a-question-timbeter-right/> (accessed 01.10.2019).
- [16] Tsakhkna, A.-G. *Pochemu ispol'zovanie iskusstvennogo intellekta effektivnee ruchnykh izmereniy?* [Why is the use of artificial intelligence more effective than manual measurements?] Available at: <http://www.timbeter.com/en/why-use-artificial/> (accessed 01.10.2019).
- [17] Di Giuseppe R. *Chelovek mozhet izmerit' 200 breven v chas. Timbeter izmeryaet 280 000* [A person can measure 200 logs per hour. Timbeter measures 280,000]. Available at: <http://www.timbeter.com/en/man-can-measure-200-logs-per-hour-timbeter/> (accessed 01.10.2019).
- [18] Sirp T. *Kak kachestvo shtabelya vliyaet na rezul'tat izmereniy* [How the quality of the stack affects the measurement result]. Available at: <http://www.timbeter.com/ru/as-the-quality-of-the-stacks-influences-the-result/> (accessed 01.10.2019).
- [19] Smolyak S. *Timbeter predostavlyaet vozmozhnost' tsifrovogo dokazatel'stva ob'ema lesa, i tsena za etu unikal'nuyu vozmozhnost' nevysoka* [Timbeter provides digital evidence of forest volume, and the price for this unique opportunity is low]. Available at: <http://www.timbeter.com/en/red-October-timbeter-provides-to/> (accessed 15.10.2019).
- [20] Tobar Kh. *CMPC Chili: Timbeter pomogaet sokhranit' zdorov'e rabotnikov, sekonomit' vremya i krasku* [CMPC Chile: Timbeter helps keep workers healthy, save time and paint]. Available at: <http://www.timbeter.com/en/cmpe-checked-timbeter-helps-save-Health/> (accessed 15.10.2019).

Authors' information

Belyaev Nikolay L'vovich — Forestry Engineer, nikolai@timbeter.com

Safargalieva Sof'ya Faridovna — Customer support manager at Timbeter OÜ, sofya@timbeter.com

Received 18.10.2019.

Accepted for publication 23.12.2019.

ОЦЕНКА ИНФОРМАЦИОННЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНОГО КОСМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА НПО «ЛЕПТОН» И МФТИ В ЗАДАЧЕ МОНИТОРИНГА ЛЕСНЫХ ТЕРРИТОРИЙ РОССИИ

С.А. Зотов¹, Е.В. Дмитриев², С.Ю. Шибанов¹

¹ФГАОУ ВО Московский физико-технический институт (Национальный исследовательский университет), 141701, Московская обл., г. Долгопрудный, Институтский пер., д. 9

²ФГБУН Институт вычислительной математики им. Г.И. Марчука Российской академии наук, 119333, г. Москва, ул. Губкина, д. 8

zotov.sa@mipt.ru

Представлен метод оценки информационных возможностей спутниковых мультиспектральных и гиперспектральных систем дистанционного зондирования Земли. Предлагаемый подход включает в себя имитационно-статистическое моделирование заданной спутниковой системы и интеллектуальную обработку получаемых с помощью нее данных. В результате получены вероятностные оценки, определяющие возможность решения поставленной задачи за заданное время и с необходимым качеством. Рассматривается практическое применение данного метода для определения информационных возможностей гиперспектрального комплекса космического базирования НА-ГС, разработанного НПО «Лептон» и Московским физико-техническим институтом, при решении задач классификации почвенно-растительного покрова. В качестве тестового участка выбрана территория Валуйского лесничества (Белгородская обл.). Проведенные расчеты показали, что при использовании рассматриваемой аппаратуры, задачи распознавания основных типов объектов и классификации видового состава древостоев могут быть решены в среднем за 262 суток с точностью 91,3 %. В дальнейшем, в процессе введения НА-ГС в эксплуатацию на Международной космической станции, данная методика позволит определить целесообразность включения той или иной задачи мониторинга выбранных территорий в полетное задание.

Ключевые слова: информационные возможности систем ДЗЗ, гиперспектральные изображения, имитационно-статистическое моделирование, машинное обучение, оценка параметров лесных территорий

Ссылка для цитирования: Зотов С.А., Дмитриев Е.В., Шибанов С.Ю. Оценка информационных возможностей гиперспектрального космического комплекса НПО «Лептон» и МФТИ в задаче мониторинга лесных территорий России // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 3. С. 26–32.
DOI: 10.18698/2542-1468-2020-3-26-32

Спутниковый мониторинг лесных территорий позволяет оперативно получать информацию о параметрах и жизненном состоянии древостоев. Развитие соответствующих систем и методов обработки получаемой информации актуально для работы различных служб управления лесным хозяйством Российской Федерации (РФ). Под спутниковой системой дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) обычно подразумевается прибор ДЗЗ и искусственный спутник Земли (ИСЗ), на котором прибор базируется и с которого осуществляется зондирование. В ряде случаев система может включать один или несколько спутников. По данным спутникового мониторинга можно обнаруживать очаги лесных пожаров, места незаконных вырубок, а также определять таксационные и продукционные параметры древостоев [1–5].

При использовании систем ДЗЗ необходимо иметь представление об оперативности получения и обработки информации. Процесс оценки информационных возможностей той или иной системы ДЗЗ подразумевает определение конкретных задач, решаемых с помощью данной системы, а также расчет характеристик оперативности получения решений при заданной точ-

ности [6]. Представление об информационных возможностях спутниковой системы ДЗЗ при решении той или иной задачи позволяет сделать вывод о целесообразности включения выбранной задачи в полетное задание. Зная информационные возможности, можно разработать рекомендации по улучшению заданной космической системы ДЗЗ в целях расширения информационных возможностей при решении заданного класса задач.

Гиперспектральный спутниковый мониторинг является перспективным направлением развития систем ДЗЗ, имеющим множество приложений в различных областях науки и народного хозяйства [7–10]. Высокое спектральное разрешение позволяет выявить и использовать особенности спектрального распределения отражательной способности исследуемых объектов, решать задачи классификации и определения характеристик исследуемых объектов на новом качественном уровне [11]. При гиперспектральном зондировании лесных территорий исследователи рассматривают задачи более тонкой классификации [12]. При использовании стандартного индексного представления мультиспектральных данных низкого и среднего пространственного разрешения можно

с уверенностью говорить лишь об определении лесистости и классификации на уровне хвойных и лиственных отделов. Привлечение более подробной спектральной информации позволяет более точно определять отдельные таксоны и возрастные классы [13]. Это, в свою очередь, с учетом результатов изучения географической изменчивости экотипов [14, 15], обеспечивает повышение точности оценки биомассы, плотности и прочности древесины.

К основным недостаткам гиперспектрального мониторинга относят большие объемы получаемой информации и высокую сложность методов ее обработки. Зачастую при повышении спектрального разрешения различия между данными соседних спектральных каналов остаются незначительными, так что информация, извлекаемая из этих каналов, может казаться избыточной [16]. Возникает задача оценки информационного содержания получаемых данных как математическая процедура анализа частот появления тех или иных градаций регистрируемых интенсивностей излучения. Следует также отметить, что преимущества гиперспектрального мониторинга оспариваются рядом авторов [17].

Цель работы

Настоящая статья посвящена разработке методики оценки информационных возможностей мультиспектральных и гиперспектральных систем дистанционного зондирования при решении задач автоматизированной классификации параметров лесных территорий. Практическое применение данной методики в первую очередь связано с определением перспектив использования гиперспектрального космического комплекса НА-ГС (научная аппаратура «Гиперспектрометр») совместного производства НПО «Лептон» и МФТИ, который в ближайшем будущем будет установлен на Международной космической станции (МКС).

Материалы и методы

Для оценки информационных возможностей НА-ГС при классификации породного состава древостоев на территории РФ и проведения численных экспериментов рассмотрена территория Валуйского лесничества (Белгородская обл.). Такой выбор обусловлен возможностью наблюдения с борта Международной космической станции (МКС) и наличием актуальных наземных лесотаксационных данных. Задача оценки информационных возможностей состоит из двух частей. На первом этапе проводится оценка времени сбора информации с помощью системы ДЗЗ, необходимой для классификации видового состава древостоев в выбранных районах (далее — оценка оперативности). На втором — определяется ре-

ференсная точность решения указанных задач тематической обработки на основе информации, которую потенциально можно собрать с помощью системы ДЗЗ. Поскольку на данный момент у нас нет реальных гиперспектральных изображений НА-ГС, то для проведения тестовых расчетов нами используются мультиспектральные изображения и, соответственно, рассматривается более простая задача тематической обработки, в которой древостои классифицируются на хвойные и лиственные отделы.

Оценка оперативности

Оперативность системы ДЗЗ количественно характеризуются показателем оперативности, который представляет собой математическое ожидание времени выполнения поставленной задачи [18, 19]. Для определения целесообразности включения задачи мониторинга в полетное задание космической системы ДЗЗ важно знать вероятность завершения сбора информации в заданный срок или с некоторой периодичностью. Оценка показателя оперативности будет производиться на основе имитационно-статистической модели (ИСМ) заданной системы ДЗЗ. Для этого ИСМ должна включать движение спутника, на котором базируется система ДЗЗ, и полосу захвата (ПЗ) камеры. В процессе моделирования системы ДЗЗ определяются траектории движения спутника (или спутников) и параметры съемки при допустимом угле Солнца над горизонтом и облачности. Для дальнейшего решения поставленных задач необходимо, чтобы область интереса (ОИ) — территория, для которой решается задача, была полностью, либо на заданную долю покрыта материалами съемки с заданной шириной ПЗ. Динамика многократного покрытия ОИ сохраняется. После завершения моделирования по сохраненной динамике вычисляется показатель оперативности системы.

Далее приведем информацию о входных данных и параметрах ИСМ при оценке оперативности НА-ГС:

- параметры орбиты спутника соответствуют параметрам орбиты МКС за 5 июня 2018 г., определяются согласно открытому источнику — www.celestrak.com;

- угол обзора гиперспектральных камер НА-ГС — 3,5°;

- ОИ — лесные массивы Валуйского лесничества, их границы известны и показаны на рис. 1;

- статистические данные по облачности за период с 2007 по 2017 гг. определяются из открытого источника — www.esrl.noaa.gov.

При проведении оценки оперативности рассматриваемым методом было принято, что

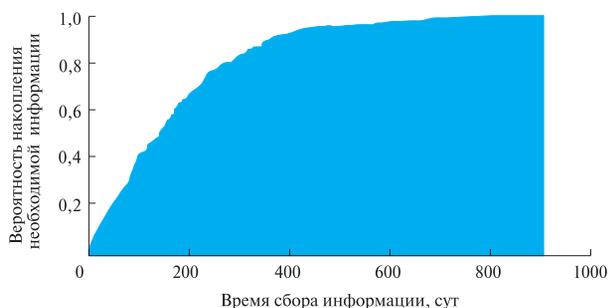


Рис. 1. Гистограмма вероятности накопления информации, необходимой при выполнении задачи классификации видового состава древостоев в зависимости от времени работы НА-ГС

Fig. 1. A histogram of information accumulation probability necessary when classifying the species composition of forest stands depending on the operating time of the NA-GS

информацию следует собирать при угле Солнца над горизонтом не меньше 30° , облачности не более 2 баллов (по десятибалльной шкале), кроме того, необходимо попадание в ПЗ не менее 90 % ОИ.

По результатам моделирования работы НА-ГС с борта МКС проведена оценка среднего ожидаемого времени выполнения задачи классификации, которое составило 172 сут. со среднеквадратичной ошибкой 153 сут. Функция распределения вероятности сбора информации, необходимой при выполнении поставленной задачи классификации, от времени работы НА-ГС представлена на рис. 1. По представленной функции распределения видно, что вероятность в 100 % достигается более, чем за 900 сут. наблюдений. Так как предложенная модель предусматривает наблюдения только в месяцы с мая по сентябрь включительно, то можно утверждать, что информация будет собрана приблизительно через 6 лет наблюдений заданным прибором с заданного космического аппарата (то есть с МКС).

Все это с учетом вероятности появления облачности над выбранным районом. Облачность оказывает значительное влияние на время накопления информации, так как при ее исключении из модели вероятность сбора необходимо информации достигает 100 % уже через 130 сут. наблюдения и можно утверждать, что задача будет выполнена за один сезон наблюдений (за время с мая по сентябрь). Так же следует отметить, что платформа, на которой базируется НА-ГС — МКС — идет по орбите, не предназначенной для ДЗЗ, поэтому в качестве одной из мер по улучшению оперативности при решении этой задачи можно предложить использование космического аппарата, выведенного на солнечно-синхронную орбиту. Также, эффективной мерой будет увеличение космической группировки спутников ДЗЗ с гиперспектральной аппаратурой.

Оценка точности

Для оценки точности выполнения задачи необходимы образцы данных. Не смотря на то, что в настоящее время аппаратура НА-ГС не введена в эксплуатацию, в свободном доступе имеются мультиспектральные изображения Валуйского лесничества. Мы использовали изображения, полученные со спутника Landsat 8 за 29 мая 2018 г. Бортовой мультиспектрометр OLI (Operational Land Imager) снимает поверхность Земли в девяти спектральных каналах, четыре из которых — Blue, Green, Red, NIR — находятся в спектральных диапазонах НА-ГС. Пространственное разрешение 30 м также сопоставимо с разрешением камер НА-ГС (две камеры НА-ГС снимают в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах в пространственном разрешении 45 и 70 м, соответственно) [20]. Поэтому в качестве образца спектрального изображения воспользуемся этим изображением.

Проведем тематическую обработку спектрального изображения для классификации видового состава древостоя и сравним с наземными данными. Тематическая обработка представляет собой попиксельную обучаемую классификацию на основе метода квадратичного дискриминантного анализа [21, 22]. Выбор данного метода для решения рассматриваемой задачи основан на результатах сравнительного анализа, представленного в работе [23]. На обрабатываемом снимке (рис. 2, а) выделяются пять основных классов объектов: лиственный лес, хвойный лес, трава, почва, вода. Если спектральные характеристики классифицируемого объекта значительно отличаются от характеристик представленных классов — тогда объект классифицируется как «Прочие».

В качестве наземных данных предоставлены контуры лесных выделов и преобладающие внутри этих выделов породы деревьев. Предварительно мы объединили все породы деревьев на группы лиственных и хвойных пород, поскольку пространственное разрешение OLI, следовательно, и НА-ГС не позволяет сделать классификацию на конкретные породы. Контуры получившихся выделов представлены на рис. 2, б, поверх тестовых изображений.

Доминантные классы, полученные при тематической обработке, сравнивали с наземными данными, результаты сравнения представлены в таблице в виде матрицы ошибок, точности (precision — доля правильно определенных объектов класса относительно всех объектов этого класса по результатам классификации) и полноты (recall — доля правильно определенных объектов класса относительно всех объектов этого класса по наземным данным), определенных для каждо-

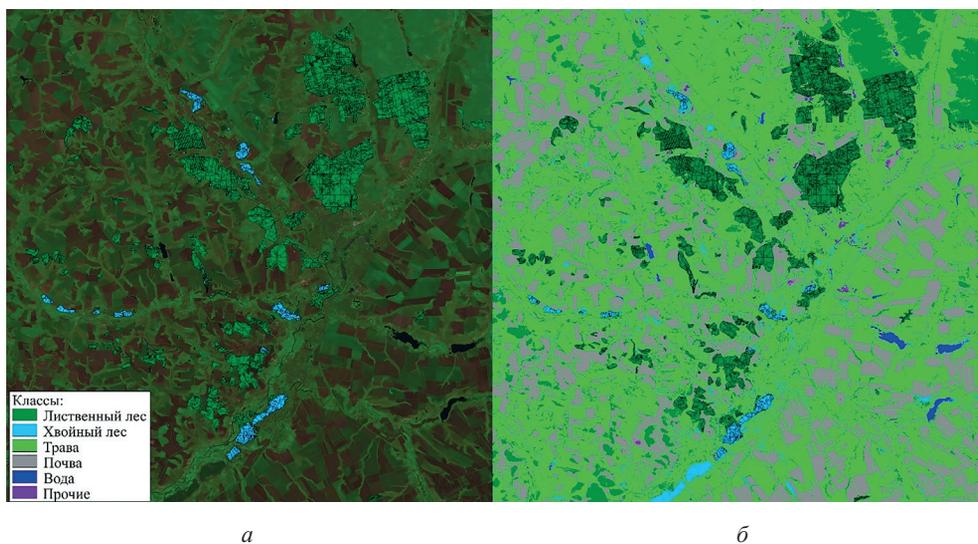


Рис. 2. Наземные данные и результаты обработки: *a* — псевдоцветное изображение тестовой территории, составленное из каналов Landsat 8 (красный — канал ‘RED’, зеленый — канал ‘NIR’, синий — канал ‘SWIR-1’), в черных контурах обозначены границы лесных выделов Валуйского лесничества, цвета их заливки означают доминантный класс внутри контура, согласно наземным данным; *б* — результаты тематической обработки; поверх карты классов, полученной в результате попиксельной классификации снимка Landsat 8, наложены черные контуры тех же выделов, цвета их заливки означают доминантный класс внутри контура

Fig. 2. Ground data and processing results: *a* — a pseudo-color image of the test area composed of Landsat 8 channels (red — ‘RED’ channel, green — ‘NIR’ channel, blue — ‘SWIR-1’ channel), borders of forest stands of the Valuyskoye forestry are marked in black contours, the colors of their fill indicate the dominant class inside the contour, according to ground data; *b* — results of thematic processing; on top of the class map obtained as a result of the pixel-by-pixel classification of the Landsat 8 image, black outlines of the same sections are superimposed, the colors of their fill indicate the dominant class inside the outline

Матрица ошибок и метрики качества Confusion matrix and quality metrics

Показатели		Предсказанные значения						Метрики качества	
		Лиственный лес	Хвойный лес	Трава	Почва	Вода	Прочие	Precision	Recall
Реальные значения	Лиственный лес	3348	18	248	4	0	0	0,993	0,925
	Хвойный лес	25	393	53	10	0	0	0,956	0,817

го класса из наземных данных. Общая точность решения задачи (доля правильной классификации, согласно наземным данным, относительно общего количества объектов) составляет 91,3 %.

Согласно данным таблицы мы можем видеть, что лиственные леса определяются лучше хвойных и для обоих типов леса основная доля ошибок приходится на полноту (recall), то есть часть объектов данного класса по наземным данным определяется неправильно. Также, анализируя матрицу ошибок, мы можем отметить, что объекты «Лиственный лес» и «Хвойный лес» отделяются друг от друга хорошо, однако во многих случаях эти объекты могут классифицироваться как «Трава», то есть лесные участки определяются как травянистая растительность. Это мо-

жет быть следствием не только несовершенства модели, но и в большой степени устареванием или естественными погрешностями имеющихся наземных данных.

Выводы

Предложенная методика оценки информационных возможностей спутниковых систем мониторинга Земли показала свою эффективность при получении вероятностных оценок возможности решения соответствующих типичных задач с помощью гиперспектральной спутниковой аппаратуры НА-ГС. Проведенные тестовые расчеты, проведенные для территории Валуйского лесничества показали, что НА-ГС будет способно решать задачи распознавания основных типов

объектов и классификации видового состава древостоев в среднем за 262 сут. при учете облачности и за 130 сут. без учета облачности. При этом точность классификации типового состава древостоя составляет 91,3 %. В дальнейшем при составлении полетного задания, подобные оценки оперативности можно будет получить таким же образом для любого выбранного района, оценка точности будет претерпевать существенных изменений при решении любой аналогичной задачи.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 19-01-00215 и № 20-07-00370.

Список литературы

- [1] Жердев В.Н., Баранович Д.А., Гусева И.В., Постолов В.Д. Космический мониторинг лесных ресурсов как одно из ведущих направлений выявления и прогнозирования негативных геоэкологических факторов // Вестник Воронежского государственного аграрного университета, 2011. № 1. С. 179–183.
- [2] Казарян М.Л., Шахраманьян М.А. Мониторинг лесных массивов с помощью космических снимков — контроль вырубок леса // Современные проблемы науки и образования, 2015. № 1. С. 1763.
- [3] Крылов А.М., Владимирова Н.А. Дистанционный мониторинг состояния лесов по данным космической съемки // Геоматика, 2011. № 3. С. 53–57.
- [4] Шимов С.В., Никитина Ю.В. Технология мониторинга вырубок леса с использованием космических снимков высокого пространственного разрешения // Геоматика, 2011. № 3. С. 47–52.
- [5] 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.
- [6] Зотов С.А., Дмитриев Е.В., Шибанов С.Ю., Козодеров В.В., Донской С.А. Оценка оперативных возможностей гиперспектрального комплекса НА-ГС с использованием имитационно-статистического моделирования // Исследование Земли из космоса, 2019. № 1. С. 74–83.
- [7] Clevers J., Kooistra L., Salas E.A.L. Study of heavy metal contamination in river flood plains using the red-edge position in spectroscopic data // International J. of Remote Sensing, 2004, no. 25(19), pp. 3883–3895.
- [8] Bajwa S.G., Tian L.F. Soil fertility characterization in agricultural fields using hyperspectral remote sensing // Trans. ASAE, 2005, no. 48(6), pp. 2399–2407.
- [9] Ferreira M.P., Zortea M., Zanotta D.C., Shimabukuro Y.E., Filho C.R. de Souza. Mapping tree species in tropical seasonal semi-deciduous forests with hyperspectral and multispectral data // Remote Sensing of Environment, 2016, no. 179, pp. 66–78.
- [10] Kozoderov V.V., Kondranin T.V., Dmitriev E.V., Kamentsev V.P. Mapping forest and peat fires using hyperspectral airborne remote-sensing data // Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics, 2012, no. 48(9), pp. 941–948.
- [11] Schlerf M., Atzberger C., Hill J. Remote sensing of forest biophysical variables using HyMap imaging spectrometer data // Remote Sensing of Environment, 2005, no. 95, pp. 177–194.
- [12] Laurin G.V., Puletti N., Hawthorne W., Liesenberg V., Corona P., Papale D., Chen Q., Valentini R. Discrimination of tropical forest types, dominant species, and mapping of functional guilds by hyperspectral and simulated multispectral Sentinel-2 data // Remote Sensing of Environment, 2016, no. 176, pp. 163–176.
- [13] Dmitriev E.V., Kozoderov V.V., Demytyev A.O., Sokolov A.A. Recognition of forest species and ages using algorithms based on error-correcting output codes // J. of Siberian Federal University Engineering and technologies, 2017, no. 10(6), pp. 794–804.
- [14] Мельник П.Г., Пронина О.В., Станко Я.Н., Дюжина И.А. Влияние географической изменчивости на продуктивность и физико-механические свойства древесины ели // Лесной вестник/Forestry bulletin, 2014. № 1. С. 45–52.
- [15] Мерзленко М.Д., Глазунов Ю.Б., Мельник П.Г. Результаты выращивания провениенций сосны обыкновенной в географических посадках Серебряноборского опытного лесничества // Лесоведение, 2017. № 3. С. 176–182.
- [16] Dmitriev E.V. Classification of the forest cover of Tver oblast using hyperspectral airborne imagery // Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics, 2014, no. 50(9), pp. 929–942.
- [17] Herrmann I., Pimstein A., Karnieli A., Cohen Y., Alchanatis V., Bonfil D.J. LAI assessment of wheat and potato crops by VENµS and Sentinel-2 bands // Remote Sensing of Environment, 2011, no. 115, pp. 2141–2151.
- [18] Бахвалов Ю.О., Хатулев В.А., Завора Ю.И., Михеев О.В., Судаков В.М. Новые возможности имитационно-статистического моделирования для оценивания эффективности космических систем ДЗЗ // Исследование Земли из космоса, 2015. № 5. С. 44–50.
- [19] Куренков В.И., Салмин В.В., Абрамов Б.А. Основы устройства и моделирования целевого функционирования космических аппаратов наблюдения. Самара: Самарский государственный аэрокосмический университет, 2006. 296 с.
- [20] Zanter K. Landsat 8 (L8) data users handbook. USA, Sioux Falls, South Dakota: EROS, 2019, 106 p.
- [21] Мерков А.Б. Распознавание образов. Построение и обучение вероятностных моделей. М.: URSS, 2014. 240 с.
- [22] Duda R., Hart P., Stork D. Pattern Classification. USA, Hoboken: A Wiley-Interscience Publication, 2000, 745 p.
- [23] Kozoderov V.V., Kondranin T.V., Dmitriev E.V. Comparative analysis of recognition algorithms for forest cover objects on hyperspectral air-space images // Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics, 2017, no. 53(9), pp. 1132–1141.

Сведения об авторах

Зотов Сергей Александрович — аспирант Московского физико-технического института, инженер лаборатории космической оптико-электронной аппаратуры «ЭЛФОКС», zotov.sa@mipt.ru

Дмитриев Егор Владимирович — канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр. Института вычислительной математики РАН, yegor@mail.ru

Шибанов Сергей Юрьевич — канд. техн. наук, зав. лаборатории космической оптико-электронной аппаратуры «ЭЛФОКС», shibanov.siu@mipt.ru

Поступила в редакцию 15.10.2019.

Принята к публикации 25.04.2020.

INFORMATION CAPABILITIES EVALUATION OF HYPERSPECTRAL SPACE COMPLEX BY SPA «LEPTON» AND MIPT FOR MONITORING FORESTED TERRITORIES IN RUSSIA

S.A. Zotov¹, Y.V. Dmitriev², S.Y. Shibanov¹

¹Moscow Institute of Physics and Technology, MIPT, 9, Institutsky per., 141701, Dolgoprudny, Moscow reg., Russia

²Institute of Numerical Mathematics, RAS, 8, Gubkina st., 119333, Moscow, Russia

zotov.sa@mipt.ru

The article presents a method for evaluating the information capabilities of multispectral and hyperspectral Earth remote sensing systems. In particular, the article discusses the use of this method in evaluating the information capabilities of the hyperspectral space complex SPA Lepton and the Moscow Institute of Physics and Technology in solving the problem of classifying forests into deciduous and coniferous. The informational capability of the Earth remote sensing system means the possibility of solving the problem in a certain time and with a certain quality. Evaluation of information capabilities is divided into two parts. The first part is an evaluation of the operational capabilities of the multi-, hyperspectral complex, that is, the possible time to solve the problem. The second part is an evaluation of the quality of solving the problem. Evaluation of the information capability of satellite systems for remote sensing of the Earth allows us to determine the appropriateness of including the task of monitoring territories (for example, forest monitoring) in the flight mission for the satellite system, to develop steps to improve information capability in solving the tasks.

Keywords: information capabilities of remote sensing systems, hyperspectral images, simulation-statistical modeling, machine learning, estimation of parameters of forest territories

Suggested citation: Zotov S.A., Dmitriev Y.V., Shibanov S.Y. *Otsenka informatsionnykh vozmozhnostey giperspektral'nogo kosmicheskogo kompleksa NPO «Lepton» i MFTI v zadache monitoringa lesnykh territoriy Rossii* [Information capabilities evaluation of hyperspectral space complex by SPA «Lepton» and MIPT for monitoring forested territories in Russia]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 3, pp. 26–32. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-3-26-32

References

- [1] Zherdev V.N., Baranovich D.A., Guseva I.V., Postolov V.D. *Kosmicheskii monitoring lesnykh resursov kak odno iz vedushchikh napravleniy vyavleniya i prognozirovaniya negativnykh geoekologicheskikh faktorov* [Space monitoring of forest resources as one of the leading directions in identifying and forecasting negative geoeological factors]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Vestnik of Voronezh State Agrarian University], 2011, no. 1, pp. 179–183.
- [2] Kazaryan M.L., Shakhraman'yan M.A. *Monitoring lesnykh massivov s pomoshch'yu kosmicheskikh snimkov — kontrol' vyrubok lesa* [Space monitoring using satellite imagery — control of deforestation]. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education], 2015, no. 1, pp. 1763.
- [3] Krylov A.M., Vladimirova N.A. *Distsionnyy monitoring sostoyaniya lesov po dannym kosmicheskoy s'emki* [Remote monitoring of forest conditions based on satellite imagery]. *Geomatika* [Geomatics magazine], 2011, no. 3, pp. 53–57.
- [4] Shimov S.V., Nikitina Yu.V. *Tekhnologiya monitoringa vyrubok lesa s ispol'zovaniem kosmicheskikh snimkov vysokogo prostanstvennogo razresheniya* [Technology for monitoring deforestation using high-resolution satellite images]. *Geomatika* [Geomatics magazine], 2011, no. 3, pp. 47–52.
- [5] Shumakov F.T., Tolstokhat'ko V.A., Tarnopil'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.
- [6] Zotov S.A., Dmitriev E.V., Shibanov S.Yu., Kozoderov V.V., Donskoy S.A. *Otsenka operativnykh vozmozhnostey giperspektral'nogo kompleksa NA-GS s ispol'zovaniem imitatsionno-statisticheskogo modelirovaniya* [Assessment of the operational capabilities of the hyperspectral complex NA-GS using simulation-statistical modeling]. *Issledovanie Zemli iz kosmosa* [Earth research from space], 2019, no. 1, pp. 74–83.

- [7] Clevers J., Kooistra L., Salas E.A.L. Study of heavy metal contamination in river flood plains using the red-edge position in spectroscopic data. *International J. of Remote Sensing*, 2004, no. 25(19), pp. 3883–3895.
- [8] Bajwa S.G., Tian L.F. Soil fertility characterization in agricultural fields using hyperspectral remote sensing. *Trans. ASAE*, 2005, no. 48(6), pp. 2399–2407.
- [9] Ferreira M.P., Zortea M., Zanotta D.C., Shimabukuro Y.E., Filho C.R. de Souza. Mapping tree species in tropical seasonal semi-deciduous forests with hyperspectral and multispectral data. *Remote Sensing of Environment*, 2016, no. 179, pp. 66–78.
- [10] Kozoderov V.V., Kondranin T.V., Dmitriev E.V., Kamentsev V.P. Mapping forest and peat fires using hyperspectral airborne remote-sensing data. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, 2012, no. 48(9), pp. 941–948.
- [11] Schlerf M., Atzberger C., Hill J. Remote sensing of forest biophysical variables using HyMap imaging spectrometer data. *Remote Sensing of Environment*, 2005, no. 95, pp. 177–194.
- [12] Laurin G.V., Puletti N., Hawthorne W., Liesenberg V., Corona P., Papale D., Chen Q., Valentini R. Discrimination of tropical forest types, dominant species, and mapping of functional guilds by hyperspectral and simulated multispectral Sentinel-2 data. *Remote Sensing of Environment*, 2016, no. 176, pp. 163–176.
- [13] Dmitriev E.V., Kozoderov V.V., Dementyev A.O., Sokolov A.A. Recognition of forest species and ages using algorithms based on error-correcting output codes. *J. of Siberian Federal University Engineering and technologies*, 2017, no. 10(6), pp. 794–804.
- [14] Mel'nik P.G., Pronina O.V., Stanko Ya.N., Dyuzhina I.A. *Vliyaniye geograficheskoy izmenchivosti na produktivnost' i fiziko-mekhanicheskie svoystva drevesiny eli* [The influence of geographical variability on the productivity and physico-mechanical properties of spruce wood]. *Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik*, 2014, no. 1, pp. 45–52.
- [15] Merzlenko M.D., Glazunov Yu.B., Mel'nik P.G. *Rezul'taty vyrashchivaniya provenientsiy sosny obyknovennoy v geograficheskikh posadkakh Serebryanoborskogo opytnogo lesnichestva* [The results of the cultivation of provinces of Scots pine in the geographical plantings of Serebryanoborsky experimental forestry]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 2017, no. 3, pp. 176–182.
- [16] Dmitriev E.V. Classification of the forest cover of Tver oblast using hyperspectral airborne imagery. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, 2014, no. 50(9), pp. 929–942.
- [17] Herrmann I., Pimstein A., Karnieli A., Cohen Y., Alchanatis V., Bonfil D.J. LAI assessment of wheat and potato crops by VEN μ S and Sentinel-2 bands. *Remote Sensing of Environment*, 2011, no. 115, pp. 2141–2151.
- [18] Bakhvalov Yu.O., Khatulev V.A., Zavora Yu.I., Mikheev O.V., Sudakov V.M. *Novye vozmozhnosti imitatsionno-statisticheskogo modelirovaniya dlya otsenivaniya effektivnosti kosmicheskikh sistem DZZ* [New possibilities of simulation and statistical modeling for evaluating the effectiveness of space remote sensing systems]. *Issledovaniya Zemli iz kosmosa* [Earth research from space], 2015, no. 5, pp. 44–50.
- [19] Kurenkov V.I., Salmin V.V., Abramov B.A. *Osnovy ustroystva i modelirovaniya tselevogo funktsionirovaniya kosmicheskikh apparatov nablyudeniya* [Fundamentals of the device and simulation of the target functioning of spacecraft]. Samara: Samarskiy gosudarstvennyy aerokosmicheskiy universitet [Samara State Aerospace University] 2006. 296 p.
- [20] Zanter K. *Landsat 8 (L8) data users handbook*. USA, Sioux Falls, South Dakota: EROS, 2019. 106 p.
- [21] Merkov A.B. *Raspoznavanie obrazov. Postroyeniye i obuchenie veroyatnostnykh modeley* [Pattern recognition. Building and training probabilistic models]. Moscow: URSS, 2014, 240 p.
- [22] Duda R., Hart P., Stork D. *Pattern Classification*. USA, Hoboken: A Wiley-Interscience Publication, 2000. 745 p.
- [23] Kozoderov V.V., Kondranin T.V., Dmitriev E.V. Comparative analysis of recognition algorithms for forest cover objects on hyperspectral air-space images. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, 2017, no. 53(9), pp. 1132–1141.

Authors' information

Zotov Sergey Aleksandrovich — Pg. Student of Moscow Institute of Physics and Technology, Engineer of Space Optoelectronic Equipment Laboratory «ELFOX», zotov.sa@mipt.ru

Dmitriev Egor Vladimirovich — Cand. Sci. (Phys.-Math.), Senior Scientist of Institute of Numerical Mathematics, RAS, yegor@mail.ru

Shibanov Sergey Yur'evich — Cand. Sci. (Tech.), Head of Space Optoelectronic Equipment Laboratory «ELFOX», shibanov.siu@mipt.ru

Received 15.10.2019.

Accepted for publication 25.04.2020.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СМЕШАННЫХ НАСАЖДЕНИЙ МЕТОДАМИ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

М.В. Покоева¹, А.М. Ярославцев²

¹Институт лесоведения РАН, 143030, Московская обл., п/о Успенское, ул. Советская, д. 21

²ФГБОУ ВО РГАУ МСХА им. К.А. Тимирязева, 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49

mprokoeva@yandex.ru

Проведены научные исследования однородной территории смешанного леса, сочетающие классические лесохозяйственные и геоботанические исследования с помощью современных методов дистанционного зондирования Земли с использованием беспилотных летательных аппаратов. Объектом исследования являлась однородная территория смешанного леса. Установлены основные лесообразующие породы: клен остролистный (*Acer platanoides* L.), дуб черешчатый (*Quercus robur* L.), липа мелколистная (*Tilia cordata* Mill.), сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), лиственница сибирская (*Larix sibirica* Ledeb.). Построены цифровая модель поверхности и геодезически привязанный ортофотоплан. Адаптирован и проверен новый доступный метод неинвазивного измерения индекса листовой поверхности. Дана оценка индекса листовой поверхности по модифицированному методу Чианучи и Кутини, путем комплексного пересчета данных вегетационных индексов и карты высот растительности. Получены значимые линейные зависимости между индексом листовой поверхности и нормализованным относительным индексом растительности только для двух пород — сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и клена остролистного (*Acer platanoides* L.). Рассчитана доля обследованной территории для преобладающих пород. Согласно экологическому мониторингу уточнены данные по видовому составу, представлена оценка экологической продуктивности смешанных лесов.

Ключевые слова: индекс листовой поверхности, фотограмметрия, методы дистанционного зондирования Земли

Ссылка для цитирования: Покоева М.В., Ярославцев А.М. Экологические исследования смешанных насаждений методами дистанционного зондирования // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 3. С. 33–38. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-3-33-38

Необходимость осуществления регулярно-го экологического мониторинга состояния лесов обусловлена их непрерывной динамикой вследствие влияния природных и антропогенных факторов, таких, как пожары, вырубки, техногенные загрязнения и некоторых других, масштабы проявления которых существенно варьируются в зависимости от региона. Леса, расположенные в пределах Москвы — мегаполисе с многомиллионным населением, подвержены постоянной антропогенной нагрузке, что выражается в высоком уровне загрязнения атмосферы и почвенного покрова, изменениях гидрологического режима вследствие строительства дорог, прокладки коммуникаций, вырубки лесов в целях последующей застройки территории, а также повышенной рекреационной нагрузке.

Аэрофотосъемка с применением беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) особо широко применяется в последние годы в практике лесного хозяйства, поскольку является оперативной и может осуществляться в условиях повышенной облачности. Высокое пространственное разрешение БПЛА позволяет вести экологическую оценку состояния насаждений на уровне отдельных растений. Кроме того, возможность вести съемку в точно заданное время позволяет более точно оценивать состояние растительности [1].

Цель работы

Работа проводилась в рамках большого научного исследования — комплексного экологического мониторинга состояния древостоя лесной опытной дачи (ЛЮД) Тимирязевской академии. Основной задачей была проверка и адаптация нового доступного неинвазивного метода измерения индекса листовой поверхности (LAI) с использованием данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).

Материалы и методы

Территория ЛЮД расположена в Северном административном округе в северо-западной части города Москвы на территории парка Московской сельхозакадемии (МСХА) имени Тимирязева и составляет юго-западную часть ее землепользования. По природным условиям она входит в подзону смешанных хвойно-широколиственных лесов южной тайги. Почвенный покров изученных участков представлен дерново-подзолистыми почвами с разной степенью развития гумусового горизонта [2].

На рассматриваемой территории проведены комплексные исследования, сочетавшие в себе как классические геоботанические и лесоводческие изыскания, так и современные методы ДЗЗ с применением беспилотных летательных аппаратов (БПЛА).

Выявлены лесообразующие породы объекта исследования: клен остролистный (*Acer platanoides* L.), дуб черешчатый (*Quercus robur* L.), липа мелколистная (*Tilia Cordata* Mill.), сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), лиственница сибирская (*Larix sibirica* Ledeb.) [3], что было использовано для изучения экологических характеристик смешанных насаждений.

Экологическая оценка лесов требует подтверждения показателей, доступных для определения с использованием ДЗЗ, которые позволяют оценить структуру и состояние лесов по эффективности выполнения ими средозащитных и биосферных функций в условиях повышенной антропогенной нагрузки. Для этого целесообразно использовать показатели степени покрытия территории лесами, породного состава насаждений и их физиологического состояния.

По нормализованному относительному индексу растительности (NDVI) — простому показателю количественной оценки фотосинтетически активной биомассы, определяют плотность и состояние растительности [4].

По индексу листовой поверхности (LAI) — интегральному показателю широко применяющемуся в экологическом моделировании, дают оценку биомассы и продуктивности лесных экосистем [4].

Наиболее распространенным до недавнего времени был прямой подсчет этого индекса путем сбора листы с изучаемой территории. Однако метод оказался очень трудоемким и не всегда осуществим. Поэтому возникла необходимость отыскать способы непрямого определения LAI.

Неинвазивным методом определения LAI сегодня является сканирование площади листовой поверхности с малых БПЛА с помощью активных дальномеров оптического диапазона (лидаров; транслитерация с Light Identification Detection and Ranging). Несмотря на то, что этот метод применяется все чаще, высокая стоимость самих лидаров делает его недоступным для большинства отечественных исследователей [5–7].

Альтернативой лидарному сканированию площади листовой поверхности может стать фотограмметрическая обработка стереоснимков с высокой степенью перекрытия. Несмотря на то, что качество полученных снимков в первых опубликованных работах вызывало большое сомнение, ныне пришли к выводу, что это вполне подходящий метод для оценки состояния верхнего яруса древостоя [8, 9].

Аэрофотосъемка проводилась с помощью БПЛА DJI Phantom 4 на высоте 100 м от точки взлета над земной поверхностью. Фронтальное перекрытие между отдельными снимками составляло 90 %, боковое — 60 %. В результате

фотограмметрической обработки были получены ортофотопланы в формате GeoTIF, составленные из более чем 500 геодезически привязанных ортопроектированных снимков высокого разрешения, полученных в результате аэрофотосъемки на высоте 100 м от точки взлета. Создание ортофотоплана и фотограмметрическая обработка проводились с помощью программы Agisoft Metashape professional 1.3.

В ходе фотограмметрической обработки провели выравнивание стереопар геодезически привязанных цифровых изображений, построение трехмерного облака точек, расчет из трехмерного облака точек карты высот — цифровой модели поверхности (DSM) и, наконец, построение геодезически привязанного ортофотоплана по данным цифровой модели поверхности [10–12].

На последующих этапах осуществили расчет высот растительности. Для этого проводилась классификация трехмерного облака точек и в отдельную группу выделялись точки, которые относятся к земной поверхности. Из облака точек данной группы строилась цифровая модель рельефа (DEM), т. к. цифровая модель рельефа и цифровая модель поверхности были получены в виде географически привязанной матрицы значений возвышений, то цифровая модель высот растительности может быть получена в результате поэлементного вычитания значений первой матрицы из второй: $CH0M = DSM - DEM$ [13].

С помощью интерактивного дешифрирования ортофотоплана на рассмотренном участке были выделены отдельные деревья хвойных и широколиственных пород. Для каждой кроны был создан отдельный полигон. Идентификация по пород осуществлялась по дешифровочным признакам — структуре и форме кроны, неоднородности и интенсивности окраски листовых пластинок, форме ветвей [14–16].

Оценка индекса листовой поверхности производилась по модифицированному методу Чианучи и Кутини, путем комплексного пересчета по данным вегетационных индексов и карты высот растительности [17, 18]:

$$LAI = \frac{\ln(P(0))}{\Omega_0 0,85}, \quad (1)$$

где LAI — индекс листовой поверхности $m^2 m^{-2}$;
 Ω_0 — степень перекрытия листовых пластинок,
 $P(0)$ — доля земной поверхности, не покрытая листьями.

Использованная в формуле (1) константа 0,85 характеризует наклон листьев для смешанных лесов бореальной зоны.

Степень перекрытия листовых пластинок рассчитывалась по формуле

$$\Omega_0 = \frac{\ln \left[\frac{P(0)}{F_{mr}} \right] \left[\frac{1 - F_{mr}}{1 - P(0)} \right]}{\ln \left[\frac{P(0)}{F_{mr}} \right] \left[\frac{1 - F_{mr}}{1 - P(0)} \right]}, \quad (2)$$

где F_{mr} — доля общей проекции кроны на земную поверхность, не покрытую листьями.

Для того чтобы определить наличие или отсутствие растительности для каждого отдельного пикселя ортофото с помощью калькулятора растров программного комплекса Quantum GIS 3.4 был рассчитан вегетационный индекс GLA путем линейных преобразований значений в каждом из цветовых каналов:

$$GLA = \frac{2G - R - B}{2G + R + B}. \quad (3)$$

Все точки, для которых значения GLA были выше 0,2, считались покрытыми зеленой растительностью. Поскольку порозность крон считается характеристикой растения ее рассчитывают на площадь равную примерно четверти кроны — в нашем случае 2 м²:

$$F_{mr} = \frac{S(GLA < 0,2)}{2}. \quad (4)$$

Для расчета «доли разрывов», был использован индекс GLA и цифровая модель высот растений (CHM). Точка считалась относящейся к разрыву, если значение $GLA < 0,2$ и высота растений не превышала 12 м, что соответствовало примерно половине средней высоты древостоя. Так как «доля разрывов» считается характеристикой древостоя, ее рассчитывают на площадь участков, покрытых однородной растительностью. Для выделения таких участков использовались выделы согласно карте лесотаксации ЛОД 2009 г.:

$$\overline{P(0)} = \frac{S(GLA < 0,2 \text{ и } CHM < 12)}{S_{\text{выдела}}}. \quad (5)$$

Расчет значения LAI проводился в программном комплексе Quantum GIS 3.4 с помощью инструментов — калькулятора растров и калькулятора полей. Полученные значения экспортировали в виде сетки значений индекса, рассчитанных для каждого пикселя ортофотоплана, в виде ортофотоплана, окрашенного согласно выбранной цветовой схеме (рис. 1).

Результаты и обсуждение

Результаты интерактивного дешифрирования пород деревьев и его сравнение с результатами таксации 2009 г. показали, что за данный промежуток времени в породном составе в настоящее время нельзя выделить области с преобладанием

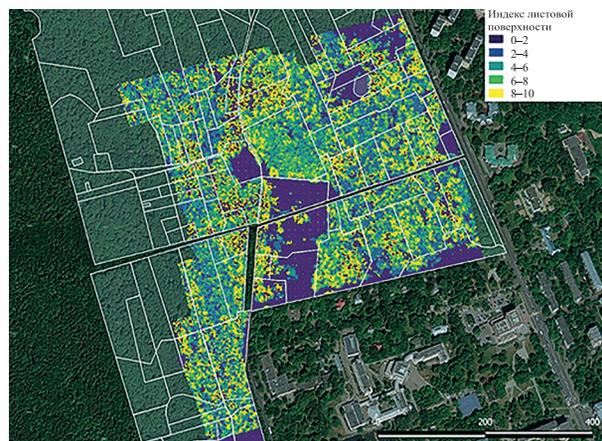


Рис. 1. Картограмма распределения значений индекса листовой поверхности, по выделам, построенным на основе данных лесотаксационного описания Лесной опытной дачи Тимирязевской академии 2009 г.

Fig. 1. Map of the distribution of leaf surface index values (laid down) for trial areas, based on data from the forest taxing description of the Timiryazev forest experimental dacha 2009

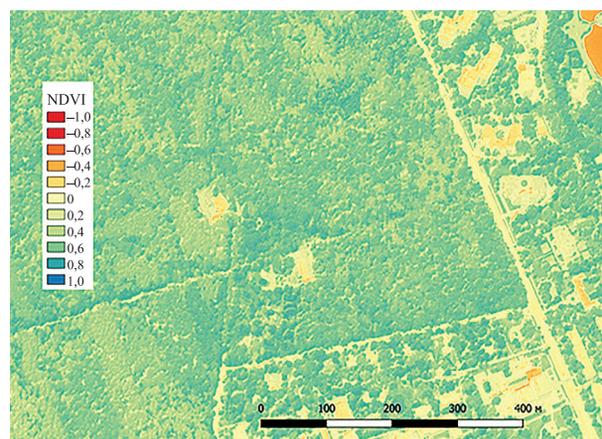


Рис. 2. Распределение нормализованного относительного индекса растительности на обследованной территории

Fig. 2. Distribution of normalized difference vegetation index in the surveyed area

только одной породы, так как из породного состава 2009 г. произошло выпадение вяза и практически полное выпадение березы. Для современного состояния породного состава преобладающими породами являются: сосна, лиственница, клен и дуб. Доля обследованной территории для разных пород составила: для лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.) — 51 % площади, сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) — 35 %, клен остролистный (*Acer platanoides* L.) — 8 % и дуб черешчатый (*Quercus robur* L.) — 6 % площади.

Количественная характеристика показателя NDVI (рис. 2) демонстрирует, что индекс по территории распространен равномерно, принимает значения от 0,45 до 0,65 для территории покрытой растительностью. Области с отрицательными значениями отражены красным цветом и его от-

**Средние значения, форма и сила
линейной связи показателей LAI и NDVI
для разных пород**

Average values, shape, and strength of the LAI and NDVI
linear bond for different breeds

Порода	NDVI	LAI	$LAI = a \cdot NDVI + b$	R^2
<i>Larix sibirica</i> Ledeb.	0,51	6,2	$a = -9,7716,$ $b = 10,433$	0,19
<i>Pinus sylvestris</i> L.	0,45	8,6	$a = 32,164,$ $b = -9,8395$	0,48
<i>Acer platanoides</i> L.	0,54	5,2	$a = 62,739,$ $b = -28,776$	0,51
<i>Quercus robur</i> L.	0,53	3,1	$a = 14,064,$ $b = -4,6685$	0,35

тенками, принимают значения от $-0,49$ до $-0,1$ — это дома, тропинки.

Среднее значение NDVI для основных доминирующих пород были близки, в то время как средние значения LAI для разных пород значительно отличались (таблица). Средние значения LAI между хвойными и широколиственными породами отличались примерно в 2 раза, что хорошо согласуется с литературными данными [19, 20]. Значимые линейные зависимости между индексом листовой поверхности и нормализованным относительным индексом растительности были получены только для двух пород — сосны обыкновенной и клена остролистного (см. таблицу).

Выводы

В ходе работы был адаптирован и проверен новый доступный метод неинвазивного измерения LAI. Обработка данных, полученных новым методом, показала, что диапазон значений LAI для юго-восточного участка ЛОД составил 5–9 для хвойных пород и 2–6 — для широколиственных. Оценка экологической продуктивности смешанных лесов сделана с помощью регрессионного анализа нормализованного вегетационного индекса (NDVI), полученному в результате инфракрасной съемки и индекса листовой поверхности (LAI), полученному в результате съемки экшн-камерой. Результаты показали, что NDVI по территории распространен равномерно, диапазон положительных значений составил от 0,45 до 0,65. Области с отрицательными значениями — от $-0,49$ до $-0,1$ — дороги, дома, пешеходные тропы. Актуализирован породный состав обследованной части ЛОД Тимирязевской академии. Установлены преобладающие породы: лиственница сибирская (*Larix sibirica* Ledeb.) — 51 % площади, сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) — 35 % площади, клен остролистный (*Acer platanoides* L.) — 8 % и дуб черешчатый (*Quercus robur* L.) — 6 % площади. Сравнив нынешние данные с полученными в 2009 г., можно заключить, что из общего

состава древостоя произошло полное выпадение вяза и почти полное выпадение березы. Согласно последним исследованиям по изучению экологических характеристик и оценке основных таксационных показателей, несмотря на неизбежные потери (ветровалы, буреломы, ураганы, засухи, заморозки, вытаптывание лесной территории Тимирязевского парка горожанами, уничтожение подроста и т. д.) древостой ЛОД Тимирязевской академии находится в удовлетворительном состоянии и еще долгие годы будет являться уникальным лесным массивом не только России, но и всей Европы.

Список литературы

- [1] Воробьев О.Н. Дистанционный мониторинг городских лесов. // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Экология. Природопользование, 2015. № 1. С. 5–21.
- [2] Наумов В.Д., Родионов Б.С., Гемонов А.В. Сравнительная оценка почв и растительности на пробных площадях лесной опытной дачи РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии, 2014. № 2. С. 5–18.
- [3] Дубенок Н.Н., Кузьмичев В.В., Лебедев А.В. Динамика лесного фонда Лесной опытной дачи РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева за 150 лет // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии, 2018. № 4. С. 5–19.
- [4] Харин Н.Г. Возможности использования вегетационного индекса (NDVI) для изучения фенологии и состава лесов России // Исследование земли из космоса, 2006. № 3. С. 89–96.
- [5] Lefsky M.A., Cohen W.B., Parker G.G., Harding D.J. LIDAR remote sensing for ecosystem studies // Bioscience, 2002, no. 52, pp. 20–30.
- [6] Шовенгердт Р.А. Дистанционное зондирование. Методы и модели обработки изображений. М.: Техносфера, 2010. 560 с.
- [7] Hansen M.C., Roy D.P., Lindquist E., Adusei B., Justice C.O., Altstatt A. A. Method for integrating MODIS and Landsat data for systematic monitoring of forest cover and change in the Congo Basin // Remote Sensing of Environment, 2008, no. 112, pp. 2495–2513.
- [8] Воробьев О.Н., Курбанов Э.А., Губаев А.В., Демишева Е.Н., Методика пошаговой классификации спутниковых снимков для тематического картирования лесов // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование, 2015. № 4. С. 57–72.
- [9] Смирнов К.Ю., Гемонов А.В., Боева А.С., Рябцева Н.В., Чистяков С.А. К вопросу о применении квадрокоптеров для автоматической оценки лесопатологического и фитосанитарного состояния насаждений // Вклад особо охраняемых природных территорий в экологическую устойчивость регионов: Современное состояние и перспективы. Материалы всерос. (с междунар. участием) конф. Кологрив, 20–21 сентября 2018 г. / под ред. А.В. Лебедева. Кологрив: ФГБУ «Государственный природный заповедник «Кологривский лес» имени М.Г. Сидницына», 2018. С. 290–294.
- [10] Zhang Z., Gerke M., Vosselman G., Ying Yang M. Filtering photogrammetric point clouds using standard lidar filters towards DTM generation // ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information

- Sciences, 2018, no. 2.
DOI: 10.5194/isprs-annals-IV-2-319-2018
- [11] 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. 57–57.
- [12] Кашкин В.Б., Сухинин А.И. Дистанционное зондирование Земли из космоса. Цифровая обработка изображений. М.: Логос, 2001. 264 с.
- [13] Digital Elevation Model Technologies and Applications: The DEM Users Manual / Ed. D.F. Maune. Maryland, USA: ASPRS, 2007, 655 p.
- [14] Алешко Р.А., Гурьев А.Т. Методика тематического дешифрирования аэрокосмических снимков таежных лесов с использованием методов системного анализа // Вестник Северного (Арктического) Федерального университета. Сер.: Естественные науки, 2013. № 3. 132 с.
- [15] Верхунов П.М. Изучение строения древостоев. Методические указания по диплоному проектированию. Йошкар-Ола: Марийский политехнический институт имени М. Горького, 1981. 45 с.
- [16] Дмитриев Е.В., Козодеров В.В., Дементьев А.О., Сафонова А.Н. Комбинирование классификаторов в задаче тематической обработки гиперспектральных аэрокосмических изображений // Оптоэлектроника, приборостроение и обработка данных, 2018. № 3. С. 213–221.
- [17] Richardson A.D., Braswell B., Hollinger D.Y., Jenkins J.C., Ollinger S.V. Near-surface remote sensing of spatial and temporal variation in canopy phenology // *Oecologia*, 2009, no. 19, pp. 1417–1428.
- [18] Chianucci F., Disperati L., Guzzi D., Bianchini D., Nardino V., Lastrì C., Rindinella A., Corona P. Estimation of canopy attributes in beech forests using true colour digital images from a small fixed-wing UAV // *International J. of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2016, t. 47, pp. 60–68.
- [19] Уткин А.И., Ермолова Л.С., Уткина И.А. Площадь поверхности лесных растений: сущность, параметры, использование. М.: Наука, 2008. 290 с.
- [20] Рулев А.С., Юферев В.Г., Пугачева А.М. Инновационная технология лесомелиоративного обустройства деградированных ландшафтов на основе ГИС-технологий и космоснимков // *Инноватика и экспертиза: науч. тр.*, 2017. № 2 (20). С. 33–45.

Сведения об авторах

Покоева Мария Владимировна — аспирант Института лесоведения РАН, mpokoeva@yandex.ru
Ярославцев Алексей Михайлович — канд. биол. наук, ст. преподаватель кафедры экологии ФГБОУ ВО РГАУ МСХА им. К.А. Тимирязева, yaroslavtsevam@gmail.com

Поступила в редакцию 14.10.2019.

Принята к публикации 21.04.2020.

ENVIRONMENTAL RESEARCHES OF MIXED STANS BY REMOTE SENSING METHODS

M.V. Pokoeva¹, A.M. Yaroslavtsev²

¹Institute of Forest Science RAS, 21, Sovetskaya st., village Uspenskoe, Odintsovo district, 143030, Moscow reg., Russia

²Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 49, Timiryazevskaya st., 127550, Moscow, Russia

mpokoeva@yandex.ru

A scientific study was conducted on the territory of Petrovsko-razumovskoe Nature Reserve, combining classical forestry, geobotanical research and modern methods of remote sensing of the Earth using unmanned aerial vehicles. The object of the study was a homogeneous area of a mixed forest. The main forest-forming species are Norway maple (*Acer platanoides* L.), Common oak (*Quercus robur* L.), Small-leaved Linden (*Tilia Cordata* Mill.), Common pine (*Pinus sylvestris* L.), Siberian larch (*Larix sibirica* Ledeb.). A digital surface model and a geodesically linked orthophotomap have been built. The new available non-invasive method for measuring leaf surface index has been adapted and tested. Assessment of the leaf surface index was carried out by the modified method of Chianuchi and Kutini, by complex recalculation according to vegetation indices and vegetation elevation maps. Significant linear relationships between the leaf surface index and the normalized relative vegetation index were obtained only for two species — pine (*Pinus sylvestris* L.) and maple (*Acer platanoides* L.) for the current state of the rock composition, the predominant species are pine (*Pinus sylvestris* L.), Siberian larch (*Larix sibirica* Ledeb.), maple (*Acer platanoides* L.), oak (*Quercus robur* L.). The share of the surveyed territory for different breeds was Siberian larch (*Larix sibirica* Ledeb.) — 51 % of the area, pine (*Pinus sylvestris* L.) — 35 % of the area, maple (*Acer platanoides*) — 8 % and oak (*Quercus robur* L.) — 6 % of the area. The ecological monitoring updated the species composition, assessed the ecological productivity of mixed forests by the normalized vegetation index obtained by infrared scanning and the leaf area index obtained by the camera.

Keywords: leaf area index, photogrammetry, remote sensing

Suggested citation: Pokoeva M.V., Yaroslavtsev A.M. *Ekologicheskoe issledovanie smeshannykh nasazhdeniy metodami distantsionnogo zondirovaniya* [Environmental researches of mixed stans by remote sensing methods]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 3, pp. 33–38. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-3-33-38

References

- [1] Vorobiev O.N. *Distantsionnyy monitoring gorodskikh lesov* [Remote monitoring of urban forests]. Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ekologiya. Prirodopol'zovanie [Bulletin of the Volga state technological University. Ecology. Nature management], 2015, no. 1, pp. 5–21.
- [2] Naumov V.D., Rodionov B.S., Gemonov A.V. *Sravnitel'naya otsenka pochvy i rastitel'nosti na probnykh ploshchadyakh lesnoy opytnoy dachi RGAU-MSKHA imeni K. A. Timiryazeva* [Comparative assessment of soil and vegetation on sample areas of the forest experimental garden of the Russian state agrarian University-MTAA named after K. A. Timiryazev]. Izvestiya Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii [Izvestia of Timiryazev agricultural Academy], 2014, no. 2, pp. 5–18.
- [3] Dubenok N.N., Kuzmichev V.V., Lebedev A.V. *Dinamika lesnogo fonda Lesnoy opytnoy dachi RGAU-MSKHA imeni K.A. Timiryazeva za 150 let* [Dynamics of the forest Fund of the Forest experimental dacha of the Timiryazev state agrarian University for 150 years]. Izvestiya Timiryazevskoy Sel'skokhozyaystvennoy Akademii [Izvestia of Timiryazev agricultural Academy], 2018, no. 4, pp. 5–19.
- [4] Harin N.G. *Vozможности ispol'zovaniya vegetatsionnogo indeksa (NDVI) dlya izucheniya fenologii i sostava lesov Rossii. Issledovanie zemli iz Kosmosa* [The possibility of using the vegetation index (NDVI) to study the phenology and composition of forests in Russia. Exploration of the earth from Space], 2006, no. 3, pp. 89–96.
- [5] Lefsky M.A., Cohen W.B., Parker G.G., Harding D.J. LIDAR remote sensing for ecosystem studies. *Bioscience*, 2002, no. 52, pp. 20–30.
- [6] Schovengerdt R.A. *Distantsionnoe zondirovanie. Metody i modeli obrabotki izobrazheniy* [Remote sensing. Methods and models of image processing]. Moscow: Tekhnosfera [Technosphere], 2010, 560 p.
- [7] Hansen M.C., Roy D.P., Lindquist E., Adusei B., Justice C.O., Altstatt A.A. Method for integrating MODIS and Landsat data for systematic monitoring of forest cover and change in the Congo Basin. *Remote Sensing of Environment*, 2008, no. 112, pp. 2495–2513.
- [8] Vorobiev O.N., Kurbanov E.A., Gubaev A.V., Demisheva E.N., *Metodika poshagovoy klassifikatsii sputnikovyykh snimkov dlya tematicheskogo kartirovaniya lesov* [Method of step-by-step classification of satellite images for thematic mapping of forests]. Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie [Bulletin of the Volga state technological University. Series: The Forest. Ecology. Nature management], 2015, no. 4, pp. 57–72.
- [9] Smirnov K. Yu., Gemonov A.V., Boeva A.S., Ryabtseva N.V., Chistyakov S.A. *K voprosu o primeneniі kvadrokovoy avtomaticheskoy otsenki lesopatologicheskogo i fitosanitarnogo sostoyaniya nasazhdeniy* [On the use of quadcopters for automatic assessment of forest pathology and phytosanitary condition of plantations]. Vklad osobo okhranyaemykh prirodnykh territoriy v ekologicheskuyu ustoychivost' regionov: Sovremennoe sostoyanie i perspektivy Materialy vserossiyskoy (s mezhdunarodnym uchastiem) konferentsii. Otvetstvennyy redaktor A.V. Lebedev. [Contribution of specially protected natural territories to the ecological sustainability of regions: Current state and prospects Materials of the all-Russian (with international participation) conference. Executive editor A.V. Lebedev], 2018, pp. 290–294.
- [10] Zhang Z., Gerke M., Vosselman G., Ying Yang M. Filtering photogrammetric point clouds using standard lidar filters towards DTM generation. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 2018, no. 2. DOI: 10.5194/isprs-annals-IV-2-319-2018
- [11] 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. 57–57.
- [12] Kashkin V.B., Sukhinin A.I. *Distantsionnoe zondirovanie Zemli iz kosmosa. Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy* [Remote sensing of the Earth from space. Digital image processing]. Moscow: Logos, 2001, 264 p.
- [13] Digital Elevation Model Technologies and Applications: The DEM Users Manual. Ed. D.F. Maune. Maryland, USA: ASPRS, 2007, 655 p.
- [14] Aleshko R.A., Guryev A.T. *Metodika tematicheskogo deshifirovaniya aerokosmicheskikh snimkov taezhnykh lesov s ispol'zovaniem metodov sistemnogo analiza* [The method of thematic decoding of aerospace images of taiga forests using methods of system analysis]. Arctic Environmental Research, 2013, 132 p.
- [15] Verhunov P.M. *Izuchenie stroeniya drevostoev. Metodicheskie ukazaniya po diplomnomu proektirovaniyu* [Studying the structure of stands. Guidelines for diploma design]. Yoshkar-Ola: Mariyskiy politekhnicheskiiy institut imeni M. Gor'kogo [Mari Polytechnic Institute named after M. Gorky], 1981, 45 p.
- [16] Dmitriev E.V., Kozoderov V.V., Dementiev A.O., Safonova A.N. *Kombinirovaniye klassifikatorov v zadache tematicheskoy obrabotki giperspektral'nykh aerokosmicheskikh izobrazheniy* [Combining classifiers in the task of thematic processing of hyperspectral aerospace images]. Optoelektronika, priborostroeniye i obrabotka dannykh [Optoelectro-Nika, instrument engineering and data processing], 2018, no. 3, pp. 213–221.
- [17] Richardson A.D., Braswell B., Hollinger D.Y., Jenkins J.C., Ollinger S.V. Near-surface remote sensing of spatial and temporal variation in canopy phenology. *Oecologia*, 2009, no. 19, pp. 1417–1428.
- [18] Chianucci F., Disperati L., Guzzi D., Bianchini D., Nardino V., Lastri C., Rindinella A., Corona P. Estimation of canopy attributes in beech forests using true colour digital images from a small fixed-wing UAV. *International J. of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2016, t. 47, pp. 60–68.
- [19] Utkin A.I., Ermolova L.S., Utkina I.A. *Ploshchad' poverkhnosti lesnykh rasteniy: sushchnost', parametry, ispol'zovanie* [Surface Area of forest plants: essence, parameters, use] Rossiyskaya akademiya nauk, Institut lesovedeniya [Russian Academy of Sciences, Institute of forestry]. Moscow: Nauka [Science], 2008, 290 p.
- [20] Rulev A.S., Yuferev V.G., Pugacheva A.M. *Innovatsionnaya tekhnologiya lesomeliyativnogo obustroystva degradirovannykh landshaftov na osnovе GIS-tekhnologii i kosmosnimkov* [Innovative technology for forest reclamation arrangement of degraded landscapes based on GIS technologies and satellite imagery] Innovatika i ekspertiza: nauchnye trudy [Innovation and Expertise: Scientific Works], 2017, no. 2 (20), pp. 33–45.

Authors' information

Pokoeva Mariya Vladimirovna — Pg. Institute of Forest Science, Russian Academy of Sciences (ILAN), mpokoeva@yandex.ru

Yaroslavtsev Aleksey Mikhaylovich — Cand. Sci. (Biology), Senior Lecturer of the Department of ecology in RSAU–MTAA named after K.A. Timiryazev, yaroslavtsevam@gmail.com

Received 14.10.2019.

Accepted for publication 21.04.2020.

ОСНОВНЫЕ ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ НА ТЕРРИТОРИИ ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ

Р.А. Сибиркин¹, А.Р. Сибиркина¹, С.Ф. Лихачев²

¹ФГБОУ ВО «Челябинский государственный университет», 454001, г. Челябинск, ул. Бр. Кашириных, д. 129

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

sibirkina_alfira@mail.ru

Представлены данные об основных причинах возникновения лесных пожаров в Челябинской обл. Установлено, что в пожароопасный период с апреля по октябрь 2018 г. в лесах Челябинской обл. произошло 648 пожаров, из которых всего 5 по вине гроз, т. е. 0,8 % общего количества пожаров. Доказано, что в 215 случаях пожары возникали по вине местного населения (33,2 %), в 19 (2,9 %) — причиной пожаров явились линии электропередач, в 398 (61,4 %) случаях пожары на лесные территории пришли с полей и других территорий, не относящихся к лесному фонду, в 11 (1,7 %) случаях пожары возникали на границах территорий лесного и нелесного фонда. Установить причины возникновения пожаров на данных территориях не удалось, вероятнее всего, природа их возникновения связана с человеческим фактором. Исследования показали, что самые мощные пожары произошли в октябре 2018 г., для которого зафиксировано следующее соотношение 1 пожар = 59,8 га общей площади пожаров. С начала пожароопасного сезона 2019 г. на территории лесного фонда Челябинской обл. с апреля по июнь было ликвидировано 48 лесных пожаров на площади 278,61 га.

Ключевые слова: причины лесных пожаров, Челябинская обл., территории лесного фонда

Ссылка для цитирования: Сибиркин Р.А., Сибиркина А.Р., Лихачев С.Ф. Основные причины возникновения лесных пожаров на территории Челябинской области // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 3. С. 39–44. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-3-39-44

Лесные пожары представляют собой неконтролируемое горение лесных насаждений и часто относятся к стихийным бедствиям. Практически все лесные возгорания можно подразделить на три основных вида: верховые, низовые и подземные. Дополнительно в данную классификацию можно включить валежные и пятнистые пожары, но они возникают редко [1]. В процессе осуществления мероприятий по ликвидации огня в лесной зоне необходимо учитывать особенности каждого вида пожара. В Российской Федерации, как и во многих других государствах мира, разработана система профилактических мер по предотвращению лесных возгораний [2]. Защита лесов от пожаров — важное направление деятельности федеральной и региональной ветвей власти, других структур, имеющих отношение к лесному хозяйству. В настоящее время действуют следующие нормативные и правовые акты по тушению лесных пожаров:

– Лесной кодекс Российской Федерации от 04.12.2006 № 200-ФЗ (ред. от 13.07.2015), ст. 53.4. Тушение лесных пожаров;

– Федеральный закон «О пожарной безопасности» от 21.12.1994 № 69-ФЗ (ред. от 13.07.2015), ст. 22.1. Реализация мер пожарной безопасности в лесах и тушение лесных пожаров.

Согласно Лесному кодексу Российской Федерации, полномочия по управлению лесами, включая полный цикл работ по охране и защите лесов, переданы с федерального на региональный уровень [3], но ситуация усложняется тем,

что субъекты Российской Федерации по ряду субъективных причин в настоящее время не готовы достаточно эффективно бороться с лесными пожарами.

Лесные пожары на протяжении многих лет и по настоящее время в большой степени влияют на формирование и развитие лесных экосистем и лесных ландшафтов. Особенности лесных пожаров и их характер воздействия на окружающую природу в различных регионах страны разные, поэтому в каждом регионе необходимо проводить научные исследования по оценке влияния лесных пожаров с учетом местных климатических условий [4]. Проблема лесных пожаров в России стоит очень остро и не только потому что лесные пожары повреждают или уничтожают ценную древесину и пагубно влияют на возобновление ее ресурсов, более сложны и многогранны экологические последствия. Пожары лишают почву растительного покрова, приводят к серьезному и долговременному ухудшению состояния водосборных бассейнов, снижают рекреационную и научную ценность ландшафтов, в пожарах гибнут животные. Опасность лесных пожаров для людей связана не только с прямым действием огня, но и большой вероятностью отравления вследствие сильного обескислороживания атмосферного воздуха, поскольку в атмосферу при пожарах поступает большое количество сажи и газов (диоксида серы, оксида азота и оксида углерода), органических соединений (диоксинов, фенолов и т. п.), других вредных для окружающей среды веществ,

образующихся в процессе горения и представляющих существенный экотоксикологический риск для здоровья населения [4–7]. Важен вопрос о послепожарном состоянии лесных участков и направленности лесовосстановительного процесса, определяемыми некоторыми значимыми факторами [8]. Среди них особое место занимают особенности растительного покрова, зависящего от рельефа, так как рельеф влияет на распределение света, теплового потока, влажности, и также, сила пожара [9].

Цель работы

Цель работы — рассмотрение основных причин возникновения и распространения лесных пожаров для разработки научно обоснованных подходов к рекомендациям по устранению причин и возможных условий их возникновения, по правильной организации пожаротушения и ликвидации последствий.

Материалы и методы

В ходе исследований была использована оперативная информация о пожарах, произошедших в Челябинской обл. с апреля по октябрь 2018 г. (пожароопасный период).

Анализ многообразия причин возникновения лесных пожаров позволяет выделить среди них следующие две большие группы:

- причины естественного характера, связанные с действием неконтролируемых природных факторов;

- причины антропогенного (техногенного) характера, связанные с неосторожным обращением человека с огнем или умышленным поджогом.

Согласно литературным данным, по вине человека происходит около 80 % всех пожаров в лесу [10].

По статистике ежегодно на территории лесного фонда России регистрируется от 10 тыс. до 30 тыс. лесных пожаров, охватывающих огромные площади и нередко принимающих характер стихийных бедствий. При этом до 1/3 потерь приходится на лесное хозяйство в виде потери древесины [11]. В лесах Уральского федерального округа ежегодно фиксируется от 1,3 тыс. до 9,4 тыс. лесных пожаров. В период с 2010 по 2016 гг. максимальным количеством лесных пожаров отличилась Челябинская обл., минимальным — Ямало-Ненецкий автономный округ [12]. Причем количество пожаров может изменяться в зависимости от времени года и сложившихся погодных условий. Например, по нашим данным, в пожароопасный период — с апреля по октябрь 2018 г. — в лесах Челябинской обл. произошло 648 пожаров, общая площадь которых составила 24 321,91 га, а в период с апреля по август 2019 г.

на территории лесного фонда Челябинской обл. было зафиксировано и ликвидировано 518 лесных пожаров на общей площади 9592,01 га.

Результаты и обсуждение

Основной причиной возникновения любого лесного пожара является наличие первичного источника воспламенения, который может носить как природный, например удар молнии или фокусирование солнечной энергии каплями воды при росе, так и антропогенный характер [13]. Как экологический фактор лесные пожары по естественным причинам случались на планете задолго до появления человека — вследствие удара молнии, извержения вулкана, падения метеорита [14].

В России ежегодно происходит до 19 тыс. лесных пожаров [15]. Доля естественных пожаров (от молний) составляет около 7...8 % [16]. Вероятность возникновения лесных пожаров от природных источников варьирует в среднем от 0,1 до 0,5 % [17]. В работе Е.С. Арцыбашева и П.А. Губина [18] указано, что до 10 % лесных пожаров возникают от молний. Нами установлено, что в пожароопасный период 2018 г. в лесах Челябинской обл. из 648 пожаров только пять, возникло вследствие мощной грозы или не более 0,8 % общего количества пожаров.

В распространении огня огромное значение имеют не только погодно-климатические условия, определяющие категорию пожароопасного сезона по степени засушливости как чрезвычайно засушливые, сухие, умеренно влажные и влажные [19], но и сезон года, тип леса и другие таксационные показатели насаждений [14]. Пожароопасный сезон 2018 г. можно охарактеризовать как сухой. Так, по метеоданным, в Челябинской обл. в пожароопасный период с апреля по октябрь 2018 г. выпало всего 343,8 мм осадков, в среднем за 7 мес. 49,1 мм [20], что несомненно усугубило ситуацию. Из всех элементов погоды наиболее существенное влияние на степень пожароопасности в лесу оказывают осадки, температура атмосферного воздуха, его влажность, а на распространение пожаров — сила ветра и наличие или отсутствие облачности. Выпадение даже небольшого количества осадков приводит к увлажнению напочвенного растительного покрова и временному снижению опасности возникновения лесного пожара.

Максимальное количество пожаров произошло в мае 2018 г. (рис. 1), который характеризовался следующими погодными условиями: температурой воздуха днем — +17,2 °С, ночью — +8,8 °С, средней влажностью воздуха — 51 %, дождливыми днями в количестве 4 из 31 дня, количеством осадков — 41,3 мм. Меньше всего пожаров произошло в августе — всего четыре.

Август по погодным условиям несколько отличался: средняя температура воздуха днем составляла +23,1 °С, ночью — +14,2 °С; дождливых дней было столько же — 4 дня, количество осадков — 61,9 мм.

Усредненный показатель силы ветра в мае составил 3,9 м/с, т. е. май оказался одним из самых ветреных месяцев в 2018 г., в августе — 3,3 м/с, т. е. август стал одним из самых спокойных месяцев [20]. При одинаковом количестве дождливых дней в мае и августе, количество выпавших осадков в мае было в 1,5 раза меньше, чем в августе. Не стоит забывать и о роли ветра в распространении пожара.

По нашему мнению, более показательным фактором является не количество пожаров, а их площадь. Нами установлено, что наибольшая площадь пожаров зафиксирована также в мае месяце, и выявлено соотношение 1 пожар = 42,8 га общей площади, а в августе данное соотношение составило 1 пожар = 3,26 га общей площади (рис. 2).

По наблюдению специалистов лесного хозяйства, наибольшее количество природных пожаров наблюдается с апреля по сентябрь. Обычно в этот период на территориях многих областей России устанавливается сухая и жаркая погода. Максимальное количество возгораний наблюдается именно в мае, что может быть связано с выездом населения к месту отдыха в лес в дни продолжительных ежегодных праздников [21]. Тем не менее самые мощные пожары, как показали результаты исследования, произошли в октябре 2018 г., для которого зафиксировано соотношение 1 пожар = 59,8 га общей площади.

Быстрому распространению огня способствовали погодные условия октября: средняя температура воздуха днем — +5,0 °С, ночью — +1,4 °С, пять солнечных и два дождливых дня, количество выпавших осадков — 38,5 мм. Усредненный показатель силы ветра в октябре, так же, как и в мае, составил 3,9 м/с, т. е. октябрь также оказался одним из самых ветреных месяцев в году. Следует отметить, что быстрому распространению огня способствовали не только погодные условия (малое количество осадков и ветер), но и антропогенный фактор, а именно: пик грибного сезона и большое количество людей в лесах.

Анализ основных причин возникновения пожаров подтверждает мнение о том, что более мощным, а чаще всего основным источником зарождения лесных пожаров признается человеческий или техногенный фактор, количественное значение которого не поддается численному расчету, поскольку носит случайный многофакторный вероятностный характер. Например, нами выявлено, что в лесах Челябинской обл. в 2018 г. источником пожаров в 19 случаях (2,9 %) по-

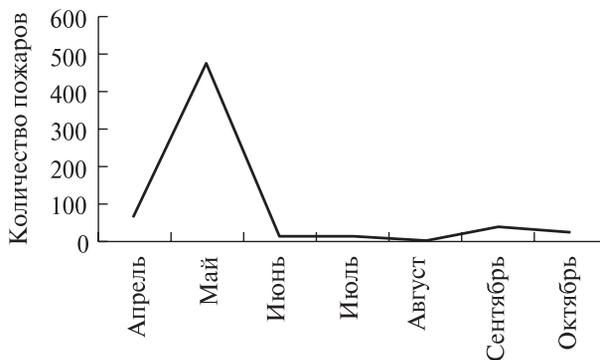


Рис. 1. Соотношение количества пожаров по месяцам — с апреля по октябрь 2018 г.

Fig. 1. The ratio of the fires number per month from April to October 2018

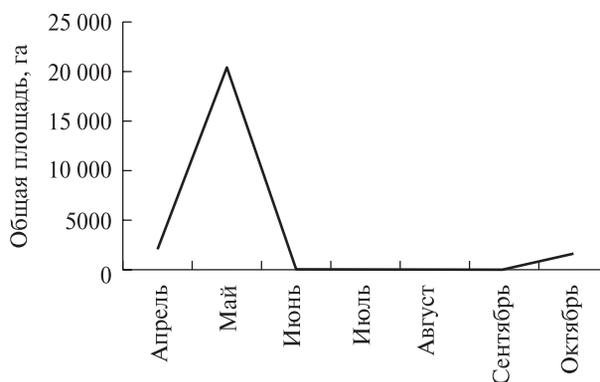


Рис. 2. Соотношение общих площадей, подвергшихся пожарам по месяцам — с апреля по октябрь 2018 г.

Fig. 2. The ratio of total area exposed to fires per months from April to October 2018

служили линии электропередач (техногенный фактор), что в 3,7 раза больше, чем от разрядов молнии в грозу.

За весь пожароопасный период 2018 г. произошло 648 пожаров на общей площади 24 321,91 га, в том числе на 20 888,45 га площади лесной территории, покрытой лесом (85,88 %) и на площади в 2562,39 га (10,54 %), не покрытой лесом, а также на площади 871,01 га (3,58 %), не отнесенной к лесной территории.

Основной задачей лесного хозяйства является обеспечение многоцелевого, рационального и неистощимого лесопользования, охраны, защиты и воспроизводства лесов, улучшения их качества [22]. На территории Челябинской обл. в 2018 г. действовало 22 лесничества, из которых по количеству пожаров с апреля по октябрь 2018 г. лидировало Шершнево-Сосновского муниципального района — 106 пожаров, меньше всего пожаров произошло в Кусинском лесничестве — 2. Наибольшая площадь, подвергшаяся пожарам, зафиксирована на территории Пластовского лесничества. Как показывает практика, основной и главной причиной возник-

новения лесных пожаров считается неосторожное обращение местного населения с огнем. Нами подсчитано, что из общего количества возникших в 2018 г. пожаров по вине местного населения произошло 215 (33,2 %). Перечислим причины возникновения пожаров в Челябинской обл. и укажем их количество:

по вине населения	215
от линий электропередач	19
от разрядов молний в грозу	5

Из общего количества пожаров в 398 (61,4 %) случаях пожары на лесные территории распространились с полей и других территорий, не относящихся к лесному фонду, в 11 (1,7 %) случаях они возникли на границах территорий лесного и нелесного фонда. Причины возникновения пожаров на данных территориях не установлены, вероятнее всего, природа их возникновения аналогична рассмотренным выше случаям, т. е. преобладают причины, связанные с человеческим фактором.

Выводы

За пожароопасный период 2018 г. произошло 648 пожаров на общей площади 24 321,91 га, в том числе на 20 888,45 га площади лесной территории, покрытой лесом (85,88 %), 2562,39 га (10,54 %) на территории, не покрытой лесом и на 871,01 га нелесной территории (3,58 %). По причине разрядов молний в грозу в пожароопасный период 2018 г. возникло не более 0,8 % пожаров, в 2,9 % случаев причиной пожаров послужили линии электропередач, что в 3,7 раза больше, чем от разрядов молний. По вине местного населения произошло более 33,2 % пожаров, следовательно, человеческий фактор — основная и главная причина возникновения пожаров в лесах Челябинской обл. Усугубляющим фактором быстрого распространения пожаров на большие территории являются неблагоприятные погодные условия — высокие температуры воздуха и малое количество осадков.

Список литературы

- [1] Курбатский Н.П. О классификации лесных пожаров // Лесное хозяйство, 1970. № 3. С. 68–73.
- [2] Ступени профилактики пожаров. URL: <https://proktivpozhara.com/tipologija/prigodnye/profilaktika-lesnykh-pozharov> (дата обращения 12.10.2019).
- [3] Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2008 году». Москва, ООО «РПШ РусКонсалтингГрупп» по заказу Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации, 2009. 488 с. URL: http://www.mnr.gov.ru/files/part/7928_gosdoklad.rar (дата обращения 12.10.2019).
- [4] Ермолаева Д.А. Роль лесных пожаров в экологии // Научное сообщество студентов XXI столетия. Естественные науки: сб. статей по материалам LXVII междунар. студ. науч.-практ. конф. № 8 (66), Новосибирск, 27 августа — 08 сентября 2018 г. Новосибирск: Ассоциация научных сотрудников «Сибирская академическая книга», 2018. 45 с.
- [5] Основные причины лесных пожаров. URL: <https://39.xn--b1aew.xn--p1ai/news/item/1138231> (дата обращения 12.10.2019).
- [6] Захарычева Т.А., Хелимский А.М., Махинова А.Ф., Иванова Е.Г., Щербаносова Т.А., Прянишникова Г.А., Шаповалов Е.В. Влияние пожаров в лесах Хабаровского края на состояние здоровья лиц с цереброваскулярными заболеваниями // Дальневосточный медицинский журнал, 2002. № 3. С. 22.
- [7] Фуряев В.В. Роль пожаров в процессе лесообразования. Новосибирск: Наука, 1996. 53 с.
- [8] Воробьев Ю.Л., Акимов В.А., Соколов Ю.И. Лесные пожары на территории России: Состояние и проблемы. М.: ДЭКСПРЕСС, 2004. 312 с.
- [9] Восстановление и мониторинг природной флоры / под ред. Б.Р. Стригановой, А.А. Маслова. М.: КМК, 2010. 116 с.
- [10] 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 12.10.2019).
- [11] Демаков Ю.П. Лесные пожары и их последствия // Принципы и способы сохранения биоразнообразия: материалы IV Всерос. науч. конф. с междунар. участием, Йошкар-Ола, 22–26 сентября 2010 г. Йошкар-Ола: МарГУ, 2010. С. 5–7.
- [12] Залесова Е.С., Оплетаяев 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.
- [13] Турчин Т.Я. Восстановление дубрав степного придолия. М.: Palmarium Academic Publishing, 2013. 500 с.
- [14] Ушаков М.И., Николаева И.О., Фролова А.В., Морозов А.М. Лесной пожар и его влияние на лес // Молодой ученый. 2016. № 1. С. 282–286. URL <https://moluch.ru/archive/105/24977/> (дата обращения 12.10.2019)
- [15] Рябкова В.А., Брылева И.Н. Состояние здоровья населения Хабаровского края в условиях воздействия лесных пожаров // Дальневосточный медицинский журнал, 2002. № 3. С. 41.
- [16] Белосеркович А.В. Роль лесных пожаров в изменении экосистем в региональном аспекте на примере Хабаровского края // Молодой ученый. 2016. Вып. 3. С. 381–385. URL <https://moluch.ru/archive/107/25524/> (дата обращения 12.10.2019).
- [17] Протасов В. В., Попов В. М., Юшин В. В., Рыжова М. А. Аспекты возникновения и технологии тушения широкомасштабных лесных пожаров // Известия Юго-Западного государственного университета. Сер.: Техника и технологии, 2013. № 1. С. 199–201.
- [18] Арцыбашева Е.С., Губина П.А. Проблема лесных пожаров от гроз и пути ее технического решения // Сборник научных трудов. Лесные пожары и борьба с ними. Ленинград: ЛенНИИЛХа, 1978. С. 19–29.
- [19] Вонский С.М., Жданко В.А., Корбут В.И., Семенов М.М., Тетюшева Л.В., Завгородняя Л.С. Определение природной пожарной опасности в лесу. Л.: Изд. ЛенНИИЛХа, 1975. 53 с.
- [20] Погода в Челябинске и Челябинской области. URL: <http://russia.pogoda360.ru/270262/may/> (дата обращения 27.12.2018).

- [21] Яшнова Т.В. Уязвимость нижегородских лесов от природных пожаров // Молодой ученый, 2014. № 21. С. 57–61. URL: <https://moluch.ru/archive/80/14328/> (дата обращения 12.10.2019).
- [22] Прокопьев К.О., Копылова С.Г. Основные причины возникновения лесных пожаров и борьба с ними // Юный ученый, 2017. № 1.1. С. 60–61. URL: <https://moluch.ru/young/archive/10/667/> (дата обращения 28.12.2019).

Сведения об авторах

Сибиркин Радмир Александрович — студент IV курса ФГБОУ ВО «Челябинский государственный университет», big_sibirkin@mail.ru

Сибиркина Альфира Равильевна — д-р биол. наук, доцент, декан факультета экологии ФГБОУ ВО «Челябинский государственный университет», sibirkina_alfira@mail.ru

Лихачев Сергей Федорович — д-р биол. наук, профессор, министр экологии Челябинской обл., likhashev@mail.ru

Поступила в редакцию 15.10.2019.

Принята к публикации 20.12.2019.

MAIN REASONS FOR FOREST FIRES IN CHELYABINSK REGION

R.A. Sibirkin¹, A.R. Sibirkina¹, S.F. Likhachev²

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

Data on the main causes of forest fires in Chelyabinsk region are presented. Weather and climate conditions are of great importance in the spread of fire. Depending on the degree of aridity the climatic conditions determine the category of fire hazard season. In Chelyabinsk region in 2018 the fire hazard season was characterized as dry according to the meteorological data. The causes of fires are both natural (lightning strike, water droplets focusing of solar energy), and anthropogenic in nature. During the fire hazard period from April to October 2018, 648 fires happened in the forests of Chelyabinsk Region. Only 5 (0,8 %) were caused by thunderstorms. In 215 cases fires occurred due to the fault of the local population (33,2 %), in 19 cases (2,9 %) power lines caused fires. In 398 (61,4 %) cases fires to forest territories were triggered in fields and other places, not related to the forest resources. In 11 (1,7 %) cases fires occurred on the borders of the forest and non-forest areas. It was not possible to establish the causes of fires in these territories. Most likely, the fires physical origin is associated with the human factor. The most powerful fires occurred in October 2018. In October 2018, the ratio of 1 fire per 59,8 hectares of total area was recorded. For the period from April to June 2019 (the beginning of the fire hazard season), 48 forest fires on the area of 278,61 hectares already been eliminated in the forest resources of Chelyabinsk Region.

Keywords: causes of forest fires, Chelyabinsk Region, forest resources territories

Suggested citation: Sibirkin R.A., Sibirkina A.R., Likhachev S.F. *Osnovnye prichiny vozniknoveniya lesnykh pozharov na territorii Chelyabinskoy oblasti* [Main reasons for forest fires in Chelyabinsk region]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 3, pp. 39–44. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-3-39-44

References

- [1] Kurbatskiy N.P. *O klassifikatsii lesnykh pozharov* [On the classification of forest fires]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry], 1970, no. 3, pp. 68–73.
- [2] *Stupeni profilaktiki pozharov* [Steps for fire prevention]. Available at: <https://protivpozgara.com/tipologija/prirodnye/profilaktika-lesnyx-pozharov> (accessed 12.10.2019).
- [3] *Gosudarstvennyy doklad «O sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchey sredy Rossiyskoy Federatsii v 2008 godu»*. Moskva, ООО «RPPR RusKonsaltingGrupp» po zakazu Ministerstva prirodnykh resursov i ekologii Rossiyskoy Federatsii [State report «On the State and Environmental Protection of the Russian Federation in 2008». Moscow, LLC «RPPR Rus-ConsultingGroup» by order of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation], 2009, 488 p. Available at: http://www.mnr.gov.ru/files/part/7928_gosdoklad.rar (accessed 12.10.2019).
- [4] Ermolaeva D.A. *Rol' lesnykh pozharov v ekologii* [The role of forest fires in ecology]. *Nauchnoe soobshchestvo studentov XXI stoletiya. Estestvennyye nauki: sbornik statey po materialam LXVII mezhdunarodnoy studencheskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Scientific community of students of the XXI century. Natural sciences: a collection of articles based on the materials of the LXVII international student scientific-practical conference], no. 8 (66), 45 p. Available at: [https://sibac.info/archive/nature/8\(66\).pdf](https://sibac.info/archive/nature/8(66).pdf) (accessed 12.10.2019).
- [5] *Osnovnye prichiny lesnykh pozharov* [The main causes of forest fires]. Available at: <https://39.xn--b1aew.xn--p1ai/news/item/1138231> (accessed 12.10.2019).

- [6] Zakharycheva T.A., Khelimskiy A.M., Makhinova A.F., Ivanova E.G., Shcherbonosova T.A., Pryanishnikova G.A., Shapovalov E.V. *Vliyaniye pozharov v lesakh Khabarovskogo kraya na sostoyaniye zdorov'ya lits s tserebrovaskulyarnymi zabolevaniyami* [Effect of fires in the forests of the Khabarovsk Territory on the health status of persons with cerebrovascular diseases]. *Dal'nevostochnyy meditsinskiy zhurnal* [Far Eastern Medical Journal], 2002, no. 3, p. 22.
- [7] Furyaev V.V. *Rol' pozharov v protsesse lesoobrazovaniya* [The role of fires in the process of forest formation]. Novosibirsky: Nauka, 1996, 53 p.
- [8] Vorob'ev Yu.L., Akimov V.A., Sokolov Yu.I. *Lesnye pozhary na territorii Rossii: Sostoyaniye i problemy* [Forest fires in Russia: Status and problems]. Moscow: DEXPRESS, 2004, 312 p.
- [9] *Vosstanovleniye i monitoring prirodnoy flory* [Restoration and monitoring of natural flora]. Ed. B.R. Striganovoy, A.A. Maslova. Moscow: KMK, 2010, 116 p.
- [10] *Prirodnye pozhary. Prichiny ikh vozniknoveniya i posledstviya. Preduprezhdeniya lesnykh pozharov. Privlecheniye naseleniya k bor'be s lesnymi pozharemi. Deystviya pri vozniknovenii lesnykh pozharov* [Natural fires. The causes of their occurrence and consequences. Forest fire warnings. Involving 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 12.10.2019).
- [11] Demakov Yu.P. *Lesnye pozhary i ikh posledstviya* [Forest fires and their consequences]. Printsipy i sposoby sokhraneniya bioraznoobraziya: materialy IV Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem [Principles and methods of biodiversity conservation: materials of the IV All-Russian scientific conference with international participation]. Yoshkar-Ola, 22–26 September 2010. Yoshkar-Ola: MarSU, 2010, pp. 5–7.
- [12] 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* [The burning of forests of the Ural Federal District and the effectiveness of protecting them from fires]. *Les Rossii i khozyaystvo v nikh* [Forests of Russia and the economy in them], 2017, no. 2 (61), pp. 47–56.
- [13] Turchin T.Ya. *Vosstanovleniye dubrav stepnogo pridon'ya* [Restoration of oak forests of the steppe bottom]. Moscow: Palmarium Academic Publishing, 2013, 500 p.
- [14] Ushakov M.I., Nikolaeva I.O., Frolova A.V., Morozov A.M. *Lesnoy pozhar i ego vliyaniye na les* [Forest fire and its impact on the forest]. *Molodoy uchenyy* [Young Scientist], 2016, no. 1, pp. 282–286. Available at: <https://moluch.ru/archive/105/24977/> (accessed 12.10.2019).
- [15] Ryabkova V.A., Bryleva I.N. *Sostoyaniye zdorov'ya naseleniya Khabarovskogo kraya v usloviyakh vozdeystviya lesnykh pozharov* [The health status of the population of the Khabarovsk Territory under the conditions of forest fires]. *Dal'nevostochnyy meditsinskiy zhurnal* [Far Eastern Medical Journal], 2002, no. 3, p. 41.
- [16] Beloserkovich A.V. *Rol' lesnykh pozharov v izmenenii ekosistem v regional'nom aspekte na primere Khabarovskogo kraya* [The role of forest fires in changing ecosystems in a regional aspect using the example of the Khabarovsk Territory]. *Molodoy uchenyy* [Young Scientist], 2016, iss. 3, pp. 381–385. Available at: <https://moluch.ru/archive/107/25524/> (accessed 12.10.2019).
- [17] Protasov V.V., Popov V.M., Yushin V.V., Ryzhova M.A. *Aspekty vozniknoveniya i tekhnologii tusheniya shirokomasshtabnykh lesnykh pozharov* [Aspects of the occurrence and extinguishing technology of large-scale forest fires]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Ser.: Tekhnika i tekhnologii* [Bulletin of the South-West State University. Series: Technics and Technologies], 2013, no. 1, pp. 199–201.
- [18] Artsybasheva E.S., Gubina P.A. *Problema lesnykh pozharov ot groz i puti ee tekhnicheskogo resheniya* [The problem of forest fires from thunderstorms and the ways of its technical solution]. *Sbornik nauchnykh trudov. Lesnye pozhary i bor'ba s nimi* [Collection of scientific papers. Forest heat and the fight against them]. Leningrad: Ed. LenNIILKha, 1978, pp. 19–29.
- [19] Vonskiy S.M., Zhdanko V.A., Korbut V.I., Semenov M.M., Tetyusheva L.V., Zavgorodnyaya L.S. *Opredeleniye prirodnoy pozharnoy opasnosti v lesu* [Determination of natural fire hazard in the forest]. Leningrad: Ed. LenNIILKha, 1975, 53 p.
- [20] *Pogoda v Chelyabinske i Chelyabinskoy oblasti* [Weather in Chelyabinsk and Chelyabinsk region]. Available at: <http://russia.pogoda360.ru/270262/may/> (accessed 27.12.2018).
- [21] Yashnova T.V. *Uyazvimost' nizhegorodskikh lesov ot prirodnykh pozharov* [Vulnerability of Nizhny Novgorod forests from natural heat]. *Molodoy uchenyy* [Young scientist], 2014, no. 21, pp. 57–61. Available at: <https://moluch.ru/archive/80/14328/> (accessed 12.10.2019).
- [22] Prokop'ev K.O., Kopylova S.G. *Osnovnye prichiny vozniknoveniya lesnykh pozharov i bor'ba s nimi* [The main causes of forest fires and the fight against them]. *Yunyy uchenyy* [Young scientist], 2017, no. 1.1, pp. 60–61. Available at: <https://moluch.ru/young/archive/10/667/> (accessed 28.12.2019).

Authors' information

Cibirkin Radmir Aleksandrovich — 4th year student of the Chelyabinsk State University, big_sibirkin@mail.ru

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

Likhachev Sergey Fedorovich — Dr. Sci. (Biology), Professor, Minister of Ecology of the Chelyabinsk Region, likhashev@mail.ru

Received 15.10.2019.

Accepted for publication 20.12.2019.

ОПТИМИЗАЦИЯ ЗАЩИТНОГО ЛЕСОРАЗВЕДЕНИЯ НА СКЛОНОВЫХ ЛАНДШАФТАХ ВОСТОЧНОГО ЗАКАМЬЯ

Э.В. Галиуллина¹, И.Р. Галиуллин¹, Р.А. Ульданова², А.Т. Сабиров¹

¹ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», 420015, г. Казань, ул. К. Маркса, д. 65

²Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан, 420087, г. Казань, ул. Даурская, д. 28

tasat@list.ru

На основе изучения продуктивности и санитарного состояния защитных лесных насаждений 13–17-летнего возраста Восточного Закамья Республики Татарстан определены пути оптимизации лесоразведения на склоновых ландшафтах. Под пологом лесных фитоценозов Альметьевского муниципального района выделены рендзины, серые лесные, коричнево-бурые лесные почвы. Изучены сосновые, еловые, березовые, тополевые лесомелиоративные насаждения, чистые и смешанные по составу. Определены таксационные показатели древостоев, выявлены особенности распределения деревьев по категориям состояния. Установлен тип лесорастительных условий на изученных экосистемах — свежая дубрава (D_2), реже — свежая сложная суборь (C_2). Проанализированы лесомелиоративные насаждения ели европейской, сосны обыкновенной, лиственницы сибирской на почвах с развитым профилем, отличающие высокой долей здоровых деревьев, а сосновые фитоценозы, созданные на каменистых почвах склоновых земель — менее устойчивы. Приведены проектируемые лесные насаждения в зависимости от почвенных условий для облесения эродированных земель и крутых склонов. Указана целесообразность создания смешанных и сложных лесных насаждений, с внедрением кустарниковых растений, повышающих почвозащитную роль лесных фитоценозов. Показана эффективность комплекса природоохранных мероприятий по сохранению разнообразия и устойчивости лесной растительности: рубок ухода за насаждениями, регулирования рекреационной нагрузки в защитных лесах, лесокультурных, противопожарных работ, защиты лесов от болезней, вредителей.

Ключевые слова: Восточное Закамье, склоновые ландшафты, защитное лесоразведение, санитарное состояние деревьев, почвенные условия произрастания, природоохранные мероприятия

Ссылка для цитирования: Галиуллина Э.В., Галиуллин И.Р., Ульданова Р.А., Сабиров А.Т. Оптимизация защитного лесоразведения на склоновых ландшафтах Восточного Закамья // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 3. С. 45–52. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-3-45-52

В системе устойчивого функционирования природных экосистем и рационального землепользования ключевую роль выполняют лесные фитоценозы, которые наряду с решением почвозащитных задач повышают лесистость территории [1–4]. Защита почвенного покрова от деградации и повышение экологической устойчивости склоновых ландшафтов актуальны в Восточном Закамье Республики Татарстан. Согласно физико-географическому районированию обследуемая территория входит в Альметьевский ландшафтный возвышенный район с Приволжскими липово-дубовыми лесами и Закамско-Заволжскими в сочетании с липово-дубовыми и липовыми лесами на выщелоченных и типичных черноземах [5]. Восточное Закамье приурочено к лесостепной зоне, характеризуется глубоко расчлененным рельефом, в частности, на ее территории расположена Бугульминско-Белебеевская возвышенность с абсолютными высотами до 280...360 м. Характерной особенностью рельефа региона является преобладание денудационных поверхностей, где развиваются ветровой и водной эрозионные процессы. В районе исследования встречаются низкогорные рельефные формы и низменности, возвышенное плато и слабоволнистые равнины,

распространены возвышенности с покатыми и крутыми склонами [6].

Для предотвращения эрозионных процессов, выноса почвенных частиц из верхнего плодородного слоя, повышения продуктивности природных ландшафтов эффективно создавать защитные лесные насаждения с учетом почвенно-экологических условий произрастания и особенностей ландшафта [7, 8]. Решением экологической проблемы региона интенсивно занимается Татарстанская региональная общественная благотворительная организация «Яз», которая в целях стабилизации состояния почв региона создает защитные лесные насаждения на склоновых, деградированных землях, занимается облесением крутых склонов Альметьевского муниципального района.

Цель работы

Цель работы — оценка санитарного состояния лесомелиоративных насаждений и оптимизация лесоразведения на склоновых ландшафтах Восточного Закамья.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования послужили защитные лесные насаждения, расположенные вокруг

г. Альметьевска и произрастающие на склоновых ландшафтах, деградированных землях. Лесомелиоративные насаждения произрастают в зоне деятельности Поташно-Полянского участкового лесничества Альметьевского лесничества. Фитоценозы, созданные как на пологих, так и на крутых склонах террасированием, представлены сосной обыкновенной, елью европейской, лиственницей сибирской, березой повислой, тополем гибрид-38. Это — искусственные почвозащитные, водорегулирующие лесные насаждения 13–17-летнего возраста.

Дана оценка ландшафта района [9] и эродированности склоновых земель, исследовали почвенно-экологические условия произрастания лесных насаждений. В целях проведения научных изысканий в лесных фитоценозах заложили пробные площади (ПП) согласно ОСТ 56-69-83 для комплексных биогеоценологических исследований с определением лесоводственных, таксационных показателей насаждений [10]. При проведении пересчета по диаметру дерева были распределены по шести категориям состояния [11], а также описаны видимые признаки повреждения кроны и стволов различного происхождения, исследованы пороки древесных пород, пораженность грибными болезнями и энтомовердителями.

Результаты и их обсуждение

Биологическое разнообразие, продуктивность лесных фитоценозов в пределах однородного климатического района во многом определяются почвенным фактором. Поэтому для проведения лесорастительной оценки в защитных лесных насаждениях были изучены почвы. Выделены следующие их типы: серые лесные, коричнево-бурые лесные, рендзины. По взаимодействию различных факторов почвообразования определена дифференциация почвенного покрова склоновых ландшафтов Восточного Закамья. Защитные леса часто создают на рендзинах типичных и выщелоченных, образованных на плитчатых известковых породах, известняках, элювии пермских отложений, лесомелиоративные насаждения — на серых лесных и темно-серых лесных почвах, развитых на лессовидных и делювиальных суглинках. В составе буроземов, сформированных на красноцветных пермских отложениях, выявлены коричнево-бурые лесные типичные и коричнево-темно-бурые лесные почвы. Установлен тип лесорастительных условий в изученных экосистемах — свежая дубрава (D_2), реже — свежая сложная суборь (C_2), что соответствует оптимальным условиям по богатству почвы и ее увлажнению [12].

От водно-физических, физико-химических свойств почв зависит и их противоэрозийная

устойчивость. Эрозионные процессы, степень смытости почв негативно отражаются на почвенном плодородии [13]. Почвы склоновых территорий имеют гранулометрический состав от среднесуглинистого до легкосуглинистого, на открытых и эродированных участках они часто слабооструктурены, что свидетельствует о слабой водопроницаемости и низкой устойчивости к водной эрозии.

Выделены формирующиеся лесные биогеоценозы: на ПП6–10 — сосняк разнотравный; ПП5 — сосняк рябиново-разнотравный; ПП11 — березняк разнотравный; ПП13 — тополевик разнотравный; ПП16 — сосняк кленово-разнотравный [14]. Распределение деревьев преобладающих пород по ступеням толщины в защитных лесах свидетельствует о значительной дифференциации деревьев внутри древостоев: коэффициент вариации составляет 22...34%, среднеквадратическое отклонение — 1,4...3,2 см, точность опыта при определении среднего диаметра — 1,9...2,6 %. Высокая дифференциация деревьев отражает как внутривидовую борьбу в древостоях, так и широкую амплитуду экологических факторов склоновых территорий. Защитные лесные насаждения склоновых ландшафтов лесостепи Закамья имеют I класс возраста для хвойных пород и I–II классы возраста для лиственных пород, характеризуются высокой продуктивностью: произрастают по I–II классам бонитета. Средний диаметр насаждений варьирует в пределах 7,3...10,9 см, средняя высота — в пределах 5,7...8,8 м. Средний диаметр лиственных насаждений изменяется от 5,3 до 6,8 см, средняя высота — от 6,0 до 7,0 м.

На основе проведенных биогеоценологических исследований определено санитарное состояние древостоев ПП (табл. 1). В изученных сосновых насаждениях явно преобладают деревья без признаков ослабления. Содержание здоровых деревьев сосны на пробных площадях варьирует от 70,5 до 87,4 %, доля ослабленных деревьев составляет 8,1...16,9 %, сильно ослабленных — 1,0...8,6 %, сухостойных — 1,1...4,8 %, а количество усыхающих деревьев достигает 1,8 %. Высокой долей деревьев без признаков ослабления выделяются сосновые фитоценозы ПП5 и ПП8, сформированные на коричнево-бурых лесных суглинистых почвах. Лесомелиоративные насаждения Альметьевского муниципального района, созданные из ели европейской и лиственницы сибирской на почвах с развитым профилем, отличаются высоким содержанием здоровых деревьев, хорошим годичным приростом в высоту (до 50...70 см). В составе лиственных насаждений высокий процент деревьев без признаков ослабления присущ тополевику разнотравному,

Т а б л и ц а 1

Содержание деревьев защитных лесных насаждений по категориям состояния, %

Percentage of improvement forest stands' trees by status categories, %

Категория состояния деревьев	Лесная экосистема									
	ПП2	ПП5	ПП6	ПП7	ПП8	ПП9	ПП10	ПП11	ПП13	ПП16
Без признаков ослабления	70,5	87,4	77,4	78,1	86,4	72,5	79,4	76,3	90,3	80,9
Ослабленные	16,9	8,7	13,6	8,1	8,5	13,7	11,0	12,2	5,8	11,4
Сильно ослабленные	7,8	1,0	5,8	8,6	2,8	7,3	7,4	7,9	0	2,7
Усыхающие	1,2	1,0	1,4	1,2	0,9	1,7	1,1	1,8	0	1,8
Сухостой текущего года	1,2	1,9	0,4	0	0,5	2,1	0	0,9	0	1,8
Сухостой прошлых лет (старый)	2,4	0	1,4	4,0	0,9	2,7	1,1	0,9	3,9	1,4

Примечание. ПП6–10 — сосняк разнотравный; ПП5 — сосняк рябиново-разнотравный; ПП11 — березняк разнотравный; ПП13 — тополевик разнотравный; ПП16 — сосняк кленово-разнотравный.

произрастающему на коричнево-бурой лесной тяжелосуглинистой почве, где сильно ослабленные и усыхающие деревья не выявлены.

На склонах условия произрастания с плотными почвенными слоями способствуют развитию поверхностных корневых систем деревьев, в определенной степени понижая их ветроустойчивость. Березняк разнотравный, сформированный на рендзине выщелоченной тяжелосуглинистой на каменистых известковых породах, менее устойчив: количество ослабленных и сильно ослабленных деревьев возрастает до 12,2 и 7,9 % соответственно. Устойчивость снижается и в чистых сосновых насаждениях, созданных на маломощных типичных рендзинах, развитых на плитчатых известковых породах и на выщелоченных рендзинах, образованных на каменистых известняках.

Защитные дубовые насаждения перспективно создавать на плоской поверхности водоразделов и покатых склонах крутизной до 11...20°, на почвах с высокими лесорастительными свойствами (черноземах, коричнево-бурых лесных, серых лесных почвах), на южной экспозиции склонов (табл. 2). Целесообразно смешение дуба черешчатого с липой мелколистной, березой повислой, кленом остролистным (по схеме смешения: 5 рядов Д + 2 ряда Лп, 4 ряда Д + 2 ряда Б) с формированием хорошего подлеска из лещины, жимолости, рябины, бересклета. Рекомендуются создавать лесные полосы шириной не менее 50 м, производить посадки саженцев дуба черешчатого рядами.

Лесомелиоративные насаждения березы повислой можно применять для закрепления оползневых участков на очень крутых склонах (свыше 30°). Они успешно формируются на маломощных карбонатных почвах (типичных и выщелоченных рендзинах) [15]. Березовые фитоценозы лучше выращивать чистыми рядами или в смешении с тополем гибрид-38. В стокорегулирующих на-

саждениях в приопушечные ряды и в подлесок можно вводить кустарниковые породы — акацию желтую, рябину, шиповник, бересклет. Березняки хорошо растут на буроземах и серых лесных почвах суглинистого и супесчаного гранулометрического состава, эффективно решая лесомелиоративную задачу. Созданные на террасированных участках склонов юго-восточных районов Республики Татарстан лесные культуры из тополя гибрид-38 и березы повислой успешно прижились, произрастают по I классу бонитета. В начальных этапах в сформировавшихся молодняках березы необходимо организовать более интенсивные прочистки.

В Восточном Закамье в защитном лесоразведении лиственница сибирская становится перспективной породой благодаря не только своей устойчивости к различным неблагоприятным факторам среды, но и декоративности [16]. При достаточном увлажнении она успешно произрастает на лесных почвах с развитым профилем и маломощных рендзинах с щебенчатым подстилами склоновых земель. Смешение лиственницы сибирской и сосны обыкновенной (3 ряда Л и 3 ряда С) повышает почвозащитную роль лесных насаждений на крутых склонах (21...30°). На буроземах и серых лесных почвах пологих склонов перспективны фитоценозы из лиственницы сибирской и ели европейской (3 ряда Л и 3 ряда Е) по схеме посадки 3,0×0,75 м. Расстояние между полосами 3 м. В междурядья вводят жимолость обыкновенную и рябину обыкновенную. Применение в качестве подлеска ягодных кустарниковых пород позволяет привлекать в экосистемы птиц.

В лесомелиоративных насаждениях Альметьевского муниципального района преобладают сосняки с составом 10С, 10С + Б, 10С + Е. Чистые сосновые культуры часто пожароопасные,

Т а б л и ц а 2

**Проектируемые защитные лесные насаждения Восточного Закамья
в зависимости от почвенных условий**

Designed protective forest stands of East Zakamye depending on soil conditions

Элемент рельефа	Почва	Тип лесорастительных условий	Схема смешения пород	Схема посадки, м	Состав формируемого древостоя	Подлесок
Плоская поверхность водораздела	Темно-серая лесная суглинистая	D ₂	Е-Е-Е-Л-Л	3,0×0,75	6Е4Л	Рябина, жимолость
Плоская поверхность водораздела	Чернозем суглинистый	D ₂	Д-Д-Д-Д-Д Лп-Лп	3,0×0,75 3,5×0,75	7Д3Лп + Кл	Лещина, жимолость
Пологий склон (до 10°) водораздела	Серая лесная суглинистая	D ₂	С-С-С-С-С-Л-Л-Л-Л	3,0×0,75 3,5×0,75	6С4Л	Рябина, жимолость
Пологий склон (до 10°) водораздела	Коричнево-бурая лесная суглинистая	D ₂	С-С-С-С Б-Б-Б-Б	3,0×0,75 4,0×0,50	5С4Б	Акация желтая, шиповник
Пологий склон (до 10°) водораздела	Темно-серая лесная суглинистая	D ₂	Лп-Лп-Лп-Д-Д-Д	3,0×0,75	5Лп5Д + Кл	Лещина, черемуха
Пологий склон (до 10°) водораздела	Рендзина типичная суглинистая	C ₂ -D ₂	Б-Б-Б-Б-Б	3,0×0,75 3,5×0,75	10Б+Кл	Акация желтая, бересклет, шиповник
Покатый склон (11–20°)	Коричнево-бурая лесная суглинистая	D ₂	Б-Б-Б-Т-Т-Т	3,0×0,75	5Б5Т	Ракитник русский, жимолость
Покатый склон (11–20°)	Серая лесная суглинистая	D ₂	Д-Д-Д-Д-Лп-Лп	3,0×0,75	7Д3Лп+Кл	Рябина, бересклет
Покатый склон (11–20°)	Коричнево-темно-бурая лесная суглинистая	D ₂	Д-Д-Д-Д-Б-Б	3,0×0,75	6Д4Б	Лещина, жимолость
Крутой склон (21–30°)	Коричнево-бурая лесная суглинистая	D ₂	С-С-С-С-Б-Б-Б-Б	3,5×0,50	5С5Б	Жимолость, бересклет раkitник русский
Крутой склон (21–30°)	Рендзина выщелоченная и типичная суглинистая	C ₂ -D ₂	Л-Л-Л-С-С-С	3,0×0,50 4,0×0,50	5Л5С	Рябина, жимолость
Очень крутой склон (свыше 30°)	Рендзина выщелоченная суглинистая	C ₂ -D ₂	Б-Б-Б-Б-Т-Т	3,0×0,50 4,0×0,50	7Б3Т	Жимолость, раkitник русский
Ложбина	Серая лесная суглинистая	D ₂	Т-Т-Т-Б-Б	3,0×0,75	6Т4Б + Ив, Кл	Бересклет

могут способствовать появлению очагов болезней и насекомых-вредителей. На пологих и крутых склонах с эродированными почвами рекомендуется создавать противоэрозионные насаждения сосны обыкновенной, лиственницы сибирской и березы повислой смешением полосами (6 рядов С + 4 ряда Л; 4 ряда С и 4 ряда Б). При этом благоприятная схема посадки: расстояние между сеянцами 0,5(0,75) м в ряду и 3,0(4,0) м — в междурядье. Общая ширина лесной полосы не менее 40...50 м. Широкие междурядья разрастаются

травы, единичными древесно-кустарниковыми растениями, что обеспечивает формирование основных экосистем с богатой флорой. На склоновых землях на маломощных карбонатных почвах сосновые древостои к 30–35-летнему возрасту обычно снижают прирост.

Для ели европейской в лесостепной зоне предпочтительнее гумусированные и достаточно увлажненные коричнево-бурые лесные и серые лесные почвы суглинистого гранулометрического состава [17]. Устойчивы смешанные насажде-

ния ели европейской и лиственницы сибирской (3 ряда Е и 2 ряда Л), ели европейской и березы повислой (5 рядов Е и 2 ряда Б) по схеме посадки 3,0×0,75 м.

Лесные фитоценозы тополя гибрид-38, березы повислой, ивы рекомендуется создавать в ложбинах, на дне овражно-балочных систем, на устойчиво увлажненных участках — откосах оврагов, балок (с выходом родников), а также использовать для закрепления почв оползневых участков. В мелких оврагах и промоинах склоновых ландшафтов с неустоявшимися откосами следует создавать плетневые запруды, мелкие промоины — засыпать почвы с целью предотвращения эрозии.

На пологих склонах крутизной до 10° в условиях лесостепи формируют широколиственные лесные насаждения. Смешанные насаждения создаются кулисами (5 рядов Лп + 5 рядов Д + Кл) по схеме посадки 3,0×0,75 м. Темно-серые лесные суглинистые почвы обладают высокими лесорастительными показателями для произрастания липы мелколистной, дуба черешчатого, клена остролистного.

На склонах с уклоном до 8° почву готовят для посадки деревьев рядами с помощью плугов с отвалами на глубину до 23...27 см. Можно использовать ленты шириной 1,5...2,0 м. Вспашка пропашными плугами проводится односторонняя, с отваливанием пласта вниз по склону. Ряды лесных культур целесообразно располагать поперек склона, чтобы ливневые и талые воды с тонкодисперсными частицами просачивались в грунт. На склонах при крутизне от 8 до 12° почвы готовят к посадке деревьев плужными бороздами, полосами, устраивают напашные террасы с прохождением плуга по горизонталям склона, с отваливанием пласта вниз по склону. На склонах крутизной 12...40° и длиной по склону более 20 м деревья и кустарники сажают по нарезным террасам, с обработкой почвы до глубины 24...27 см. На склонах крутизной более 40° лесные фитоценозы создают вручную с подготовкой для посадки деревьев площадок размером 1 м², расположенные через каждые 3...4 м и в шахматном порядке.

Лесные насаждения на склоновых, деградированных землях создаются плотной или умеренно-ажурной конструкции, где главные породы должны быть долговечными в противоэрозийном отношении. В качестве сопутствующих деревьев используют виды теневыносливые и не мешающие главным породам в росте. В наибольшей степени водорегулирующие и почвозащитные функции выполняют смешанные лесные насаждения, которые более устойчивы к болезням, отличаются продуктивностью, эффективнее выполняют водоохранную, почвозащитную, сани-

тарно-гигиеническую, эстетическую функции. В фитоценозах одной породы с развитием под пологом древостоя следует внедрять сопутствующие лиственные породы и кустарниковый подрост. Целесообразно создавать сложные насаждения, со вторым ярусом и подростом, благонадежным подростом из сосны, ели, лиственницы, березы, клена. Разнообразие растений нижних ярусов с развитой корневой системой увеличивает водопроницаемость почв, способствует закреплению откосов, более длительному таянию снега и меньшей промерзаемости лесной почвы. Формирование плотных опушек с внедрением кустарников обеспечивает распыление поступающего со склонов водного потока, образованию хорошей подстилки, выполняющей противоэрозийную функцию.

В условиях лесостепи лесные биогеоценозы склоновых земель характеризуются богатством флористического состава, являясь местом сохранения биологического разнообразия растений [18, 19]. Увеличение техногенной нагрузки на природные экосистемы региона требует организации комплексного мониторинга за состоянием защитных лесов по оценке влияния экстремальных погодных условий и антропогенного фактора на их устойчивость. При оценке ландшафтной структуры территории, ее эрозийности, рельефа местности, состояния склоновых ландшафтов, разработке противоэрозийных мероприятий проводят комплексные изыскания с использованием данных наземного обследования территорий и космических снимков [20].

В сформировавшихся экосистемах древесные и кустарниковые растения формируют разветвленную корневую систему, развитую крону, под пологом древостоя образуется более устоявшаяся лесная подстилка. Результаты исследований показывают, что защитные лесные насаждения на деградированных, склоновых землях начинают эффективно выполнять экологические функции через 17...20 лет после посадки. По мере увеличения крутизны склонов возрастает почвозащитная, водоохранная роль лесных насаждений. Мероприятия по защите почв от ветровой и водной эрозии предусматривают создание завершенной системы агролесомелиорации района в виде лесных полос и небольших массивов в комплексе с гидротехническими сооружениями, распылителями стока.

Эффективен комплекс природоохранных мероприятий по сохранению разнообразия и устойчивости лесной растительности. Организация лесоводственного ухода за созданными культурами обеспечивает формирование устойчивого древостоя, способствует развитию подроста и подлеска, живого напочвенного покрова. Важны

санитарные рубки в деградирующих насаждениях с отбором сухостойных, усыхающих, зараженных болезнями и вредителями деревьев. В защитном лесоразведении для повышения приживаемости, лучшего роста сеянцев и саженцев, после посева или посадки культур до смыкания полога проводят агротехнические уходы. При лесомелиоративных работах эффективно пользоваться почвенными картами.

Устойчивое функционирование лесомелиоративных насаждений требует организации противопожарных мероприятий. Охрана ценных защитных лесов особенно важна в хвойных насаждениях из сосны обыкновенной, ели европейской, лиственницы сибирской, созданных сплошными культурами на эродированных землях и характеризующихся высоким классом пожароопасности. Снижение пожарной опасности в фитоценозах достигается увеличением доли равномерно размещенных лиственных пород (березы, дуба, липы), введением лиственных пород в качестве подпологовых культур. Регулирование рекреационной нагрузки в защитных лесах сохраняет продуктивность и разнообразие растительности.

Выводы

Искусственные защитные лесные насаждения склоновых ландшафтов характеризуются хорошим санитарным состоянием. В насаждениях всех ПП абсолютно преобладают деревья без признаков ослабления. Последствия засухи 2010 года явно не отразились на состоянии лесомелиоративных насаждений Восточного Закамья, образованных как из хвойных, так и из лиственных пород.

Применение террасирования на склоновых землях позволяет создавать лесные насаждения с высокой приживаемостью. На более крутых склонах целесообразны фитоценозы из лиственницы сибирской, березы повислой и тополя гибрид-38. Проектирование защитных лесных насаждений с учетом почвенно-грунтовых условий произрастания, внедрение под полог древостоев кустарниковых пород, качественная подготовка почвы, своевременное проведение рубок ухода, регулирование густоты деревьев способствуют повышению их устойчивости. Показатели характеристики созданных лесонасаждений свидетельствуют о высокой их продуктивности, перспективности защитного лесоразведения в условиях лесостепи Восточного Закамья. Учитывая высокое экологическое и лесохозяйственное значение формируемых лесных биогеоценозов, следует продолжить научные изыскания в защитных лесах региона с обследованием на зараженность фитоценозов грибными болезнями и энтомоветеринарами.

Список литературы

- [1] Родин, А.Р., Родин С.А. Лесомелиорация ландшафтов. М.: МГУЛ, 2007. 165 с.
- [2] Шакиров Ф.Х., Ильязов Р.Г., Зайсанов Р.Р., Шакиров А.Ф. Агрорландшафтное землеустройство / под ред. Шакирова Ф.Х. Казань: Фэн АН РТ, 2004. 244 с.
- [3] Гаянов А.Г. Леса и лесное хозяйство Татарстана. Казань: Идел-Пресс, 2001. 240 с.
- [4] Калининченко Н.П., Зыков И.Г. Противоэрозионная лесомелиорация. М.: Агропромиздат, 1986. 276 с.
- [5] Ермолаев О.П., Игонин М.Е., Бубнов А.Ю., Павлова С.В. Ландшафты Республики Татарстан. Региональный ландшафтно-экологический анализ / под ред. О.П. Ермолаева. Казань: Слово, 2007. 411 с.
- [6] Ульданова Р.А., Сабиров А.Т. Биогеоэкологические исследования в прибрежных лесах // Леса Евразии — Леса Поволжья: материалы XVII Международ. конф. молодых ученых, посвященной 150-летию со дня рождения профессора Г.Ф. Морозова, 95-летию Казанского государственного аграрного университета и году экологии в России. Казань, 22–28 октября 2017 г. М.: Маска, 2017. С. 172–175.
- [7] Сабиров, А.Т., Галиуллин И.Р., Хузинов Р.Ф., Глушко С.Г. Рекомендации по созданию защитных лесных насаждений в агроландшафтах Предкамья Республики Татарстан. Казань: Казанский ГАУ, 2009. 38 с.
- [8] Колесниченко М.В. Лесомелиорация с основами лесоводства. М.: Колос, 1981. 335 с.
- [9] Черных В.Л., Попова А.В., Черных Д.В. Таксация леса: практикум / под ред. В.Л. Черных. Йошкар-Ола: Поволжский ГТУ, 2013. 212 с.
- [10] Колбовский Е.Ю. Ландшафтоведение: М.: Академия, 2007. 480 с.
- [11] Санитарные правила в лесах Российской Федерации. Положение о государственной охране Российской Федерации. СПб.: ДЕАН, 2006. 48 с.
- [12] Мерзленко М.Д. Лесокультурная оценка эдафической сетки // Леса Евразии — Сербские леса: Материалы XVIII Международ. конф. молодых ученых, посвященной акад., проф. Жарку Милетичу (1891–1968), Белград, 23–29 сентября 2018 г. Белград: Лесной факультет Белградского университета. 2019. С. 174–177. URL: http://lesaevrasii.ru/content/uploads/oficialnye-dokumenty/sbornik_le_2018.pdf (дата обращения 08.10.2019).
- [13] Каштанов А.Н., Явтушенко В.Е. Агроэкология почв склонов. М.: Колос, 1997. 240 с.
- [14] Галиуллина Э.В., Галиуллин И.Р., Ульданова Р.А., Сабиров А.Т. Состояние защитных лесных насаждений в разных почвенных условиях Закамья // Вестник Казанского государственного аграрного университета. № 2 (49). 2018. С. 32–36.
- [15] Редько Г.И., Мерзленко М.Д., Бабич Н.А., Данилов Ю.Н. Лесные культуры и защитное лесоразведение: учебник. М.: Академия, 2008. 393 с.
- [16] Мельник П.Г. Лиственница в географических культурах Щелковского лесхоза Московской области // Лиственничные леса Архангельской области, их использование и воспроизводство: Материалы регионального рабочего совещания. Архангельск, 2002. С. 86–88.
- [17] Мерзленко М.Д., Бабич Н.А. Теория и практика искусственного лесовосстановления. Архангельск: САФУ, 2011. 239 с.
- [18] Галиуллина Э.В., Сабиров А.Т. Разнообразие почв и лесной растительности склоновых ландшафтов лесоразведения

- степи Закамья // Вестник Казанского государственного аграрного университета. № 2 (49). 2018. С. 27–31.
- [19] Пуряев А.С., Сабиров А.Т. Состояние лесных фитоценозов на склоновых землях Предволжья // Молодые ученые — агропромышленному комплексу: Материалы Всерос. науч.-практ. конф. молодых ученых, Казань, 6–7 апреля 2004 г. Казань: Фэн АН РТ, 2004. С. 99–103.
- [20] Сабиров, А.Т., Капитов В.Д., Галиуллин И.Р., Кокутин С.Н. Основы экологического мониторинга природных ландшафтов: учеб. пособие. Казань: Казанский ГАУ, 2009. 68 с.

Сведения об авторах

Галиуллина Эндже Вакифовна — соискатель ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», Ifir.79@mail.ru

Галиуллин Ильфир Равилович — канд. с.-х. наук, доцент ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», Ifir.79@mail.ru

Ульданова Раиля Анасовна — канд. с.-х. наук, ученый секретарь Института проблем экологии и недропользования Академии Наук Республики Татарстан, piramidka88@mail.ru

Сабиров Айрат Тагирзянович — д-р биол. наук, профессор ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», Tasat@list.ru.

Поступила в редакцию 18.10.2019.

Принята к публикации 25.01.2020.

OPTIMIZATION OF PROTECTIVE FOREST PRODUCTION ON SLOPE LANDSCAPES IN EAST ZAKAM REGION

E.V. Galiullina¹, I.R. Galiullin¹, R.A. Uldanova², A.T. Sabirov¹

¹Kazan State Agrarian University, 65, K. Marx st., 420015, Kazan, Republic of Tatarstan, Russia

²Institute of Ecology and Subsoil Use Problems of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, 28, Daurian st., 420087, Kazan, Republic of Tatarstan, Russia

tasat@list.ru

Based on the study of the productivity and sanitary condition of protective forest stands 13–17 years old of the East Zakamye of the Republic of Tatarstan, ways of optimizing afforestation on sloping landscapes are determined. Under the canopy of forest phytocenoses of the Almetyevsk municipal district, rendzins, gray forest, and brown-brown forest soils are distinguished. Pine, spruce, birch, poplar and forest reclamation plantations, pure and mixed in composition, were studied. The taxation indicators of the stands are determined, the features of the distribution of trees by state categories are revealed. The type of forest growing conditions on the studied ecosystems is fresh oak grove (D₂), less commonly, fresh complex suborye (C₂). Reclamation plantations from European spruce, Scots pine, Siberian larch on soils with a developed profile are distinguished by a high proportion of healthy trees. Pine phytocenoses created on stony soils of sloping lands are less stable. Deciduous protective stands from poplar hybrid-38 and hanging birch, formed on brownish brown forest loamy soils, have high survival rate and productivity (class I bonitet). The resistance of mixed grass birch growing on lendzin heavy-loamy leached on stony calcareous rocks decreases: the number of weakened and heavily weakened trees increases to 12,2 and 7,9 %, respectively. In protective plantations, the content of trees without signs of weakening is 70,5–90,3 %. Designed forest stands are given depending on the soil conditions for afforestation of eroded lands and steep slopes. It is advisable to create mixed and complex forest plantations, with the introduction of shrub plants that increase the soil-protective role of forest phytocenoses. A set of environmental measures is effective to preserve the diversity and sustainability of forest vegetation: thinning of plantations, regulation of the recreational load in protective forests, forest cultivation, fire fighting, protection of forests from diseases, pests.

Keywords: East Zakamye, slope landscapes, protective afforestation, sanitary state of trees, soil growing conditions, environmental measures

Suggested citation: Galiullina E.V., Galiullin I.R., Uldanova R.A., Sabirov A.T. *Optimizatsiya zashchitnogo lesorazvedeniya na sklonovykh landshaftakh Vostochnogo Zakam'ya* [Optimization of protective forest production on slope landscapes in East Zakam region]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 3, pp. 45–52. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-3-45-52

References

- [1] Rodin A.R., Rodin S.A. *Lesomelioratsiya landshavtov* [Lesomelioration of landscapes]. Moscow: MSFU, 2007, 165 p.
- [2] Shakirov F.Kh., Il'yazov R.G., Zaysanov R.R., Shakirov A.F. *Agrolandshaftnoe zemleustroystvo* [Agrolandscape land management]. Ed. F.Kh. Shakirov. Kazan': Fe'n AN RT, 2004, 244 p.
- [3] Gayanov A.G. *Lesa i lesnoe khozyaystvo Tatarstana* [Forests and forestry of Tatarstan]. Kazan': Idel-Press, 2001, 240 p.

- [4] Kalinichenko N.P., Zykov I.G. *Protivoerozionnaya lesomelioratsiya* [Antierosion forest reclamation]. Moscow: Agropromizdat, 1986, 276 p.
- [5] Ermolaev O.P., Igonin M.E., Bubnov A.Yu., Pavlova S.V. *Landshafty Respubliki Tatarstan. Regional'nyy landshaftno-ekologicheskyy analiz* [Landscapes of the Republic of Tatarstan. Regional landscape-ecological analysis]. Ed. O.P. Ermolaev. Kazan': Slovo, 2007, 411 p.
- [6] Ul'danova R.A., Sabirov A.T. *Biogeotsenologicheskie issledovaniya v pribrezhnykh lesakh* [Biogeocenological studies in coastal forests]. *Lesa Evrazii — lesa Povolzh'ya: materialy XVII Mezhdunarodnoy konferentsii molodykh uchenykh, posvyashchennoy 150-letiyu so dnya rozhdeniya professora G.F. Morozova, 95-letiyu Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta i godu ekologii v Rossii* [Eurasian forests — Volga forests: proceedings of the XVII International Conference of Young Scientists dedicated to the 150th birthday of Professor G.F. Morozov, the 95th anniversary of Kazan State Agrarian University and the year of ecology in Russia]. Moscow: Maska, 2017, pp. 172–175.
- [7] Sabirov A.T., Galiullin I.R., Khuziev R.F., Glushko S.G. *Rekomendatsii po sozdaniyu zashchitnykh lesnykh nasazhdeniy v agrolandshaftakh Predkam'ya Respubliki Tatarstan* [Recommendations on the creation of protective forest stands in the agrolandscapes of the Pre-Kama Republic of the Republic of Tatarstan]. Kazan': KGAU, 2009, 38 p.
- [8] Kolesnichenko M.V. *Lesomelioratsiya s osnovami lesovodstva* [Land reclamation with the basics of forestry]. Moscow: Kolos, 1981, 335 p.
- [9] Chernykh V.L., Popova A.V., Chernykh D.V. *Taksatsiya lesa: praktikum* [Forest taxation: workshop]. Ed. V.L. Chernykh. Yoshkar-Ola: Povolzhskiy GTU, 2013, 212 p.
- [10] Kolbovskiy E.Yu. *Landshaftovedenie* [Landscaping]. Moscow: Akademiya, 2007. 480 p.
- [11] *Sanitarnye pravila v lesakh Rossiyskoy Federatsii. Polozhenie o gosudarstvennoy okhrane Rossiyskoy Federatsii* [Sanitary rules in the forests of the Russian Federation. Regulation on state forest guard of the Russian Federation]. St. Petersburg: DEAN, 2006, 48 p.
- [12] Merzlenko M.D. *Leskul'turnaya otsenka edaficheskoy setki* [Forest cultural assessment of the edaphic netting] // *Lesa Evrazii— Serbskie lesa: Materialy XVIII Mezhdunarodnoy konferentsii molodykh uchenykh, posvyashchennoy akademiku professoru Zharku Miletichu (1891–1968)* [Forests of Eurasia — Serbian Forests: Materials of the XVIII International Conference of Young Scientists Dedicated to the Academician Professor Zhark Miletich (1891–1968)], Belgrad, 23–29, September 2018. Belgrad: University of Belgrade, Faculty of Forestry, 2019, pp. 174–177. Available at: http://lesaevrasii.ru/content/uploads/oficialnye-dokumenty/sbornik_le_2018.pdf (accessed 08.10.2019).
- [13] Kashtanov A.N., Yavtushenko V.E. *Agroekologiya pochv sklonov* [Agroecology of slope soils]. Moscow: Kolos, 1997, 240 p.
- [14] Galiullina E.V., Galiullin I.R., Ul'danova R.A., Sabirov A.T. *Sostoyanie zashchitnykh lesnykh nasazhdeniy v raznykh pochvennykh usloviyakh Zakam'ya* [The state of protective forest stands in different soil conditions of Zakamye]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of Kazan State Agrarian University], 2018, no. 2 (49), pp. 32–36.
- [15] Red'ko G.I., Merzlenko M.D., Babich N.A., Danilov Yu.N. *Lesnye kul'tury i zashchitnoe lesorazvedenie* [Forest cultures and protective afforestation]. Moscow: Akademiya, 2008, 393 p.
- [16] Mel'nik P.G. *Listvennitsa v geograficheskikh kul'turakh Shchelkovskogo leskhoza Moskovskoy oblasti* [Larch in the geographical cultures of the Shchelkovo forestry in the Moscow region] *Listvennichnye lesa Arkhangel'skoy oblasti, ikh ispol'zovanie i vosproizvodstvo. Regional'noe rabochee soveshchanie*. Arkhangel'sk: AGTU, 2002, pp. 86–88.
- [17] Merzlenko M.D., Babich N.A. *Teoriya i praktika iskusstvennogo lesovosstanovleniya* [Theory and practice of artificial reforestation]. Arkhangel'sk: SAFU, 2011, 239 p.
- [18] Galiullina E.V., Sabirov A.T. *Raznoobrazie pochv i lesnoy rastitel'nosti sklonovykh landshaftov lesostepi Zakam'ya* [Variety of soils and forest vegetation of the slope landscapes of the Zakamye forest-steppe]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of Kazan State Agrarian University], 2018, no. 2 (49), pp. 27–31.
- [19] Puryaev A.S., Sabirov A.T. *Sostoyanie lesnykh fitotsenozov na sklonovykh zemlyakh Predvolzh'ya* [State of Forest Phytocenoses on the Slope Lands of the Pre-Volga Region]. *Molodye uchenye — agropromyshlennomu kompleksu: Vserossiysk. nauch.-prakt. konf. molodykh uchenykh* [Young Scientists for the Agro-Industrial Complex. All-Russian scientific-practical conf. young scientists]. Kazan': Fe'n AN RT, 2004, pp. 99–103.
- [20] Sabirov A.T., Kapitov V.D., Galiullin I.R., Kokutin S.N. *Osnovy ekologicheskogo monitoringa prirodnykh landshaftov* [Fundamentals of ecological monitoring of natural landscapes]. Kazan': KGAU, 2009, 68 p.

Authors' information

Galiullina Endzhe Vakifovna — Applicant of the Kazan State Agrarian University, Ilfir.79@mail.ru

Galiullin Ilfir Ravilovich — Cand. Sci. (Agriculture), Senior Lecturer of the Kazan State Agrarian University, Ilfir.79@mail.ru

Uldanova Raila Anasovna — Cand. Sci. (Agriculture), Scientific Secretary of the Institute of Ecology and Subsoil Use of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, piramidka88@mail.ru

Sabirov Airat Tagirzyanovich — Dr. Sci. (Biology), Professor of the Kazan State Agrarian University, Tasat@list.ru.

Received 18.10.2019.

Accepted for publication 25.01.2020.

ОСОБЕННОСТИ СЕЗОННОГО РАЗВИТИЯ ЛИСТВЕННИЦЫ (*LARIX MILL.*) В УСЛОВИЯХ ЮЖНОЙ ПОДЗОНЫ ТАЙГИ

Е.Б. Карбасникова¹, Н.А. Бабич², А.А. Карбасников¹

¹ФГБОУ ВО «Вологодская государственная молочнохозяйственная академия им. Н.В. Верещагина», 160555, Вологодская область, г. Вологда, с. Молочное, ул. Шмидта, д. 2

²ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова», 163002, г. Архангельск, Наб. Северной Двины, д. 17

helen15@yandex.ru

Сезонное развитие древесных растений тесным образом связано с факторами окружающей среды. Изучение особенностей пород, произрастающих на границе своего ареала, невозможно без определения соответствия фенологических ритмов и природных изменений. Особенно актуальны данные исследования при изучении адаптации видов и установлении причин, ограничивающих их дальнейшее распространение. По территории исследуемого региона проходит западная граница ареала лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.). Она отнесена к редким растениям и включена в Красную книгу Вологодской области. Установлены средние даты наступления фенологических фаз и взаимосвязь их с температурой воздуха и атмосферными осадками, а также выявлена линейная зависимость между температурой воздуха и фенологическими фазами. Представлены результаты натурных исследований. Лиственница на границе ареала проходит все фазы сезонного развития — начало ее вегетации приходится на конец второй декады апреля, при преодолении температурного порога в +5 °С; пыление стробил наблюдается в начале мая, когда оптимальная температура воздуха составляет от +10 до 15 °С; окончание вегетационного периода наблюдается при накоплении суммы положительных температур более 1900 °С; оптимальные сроки сбора семенного сырья приходятся на период с 20 сентября по 1 октября. Связь между среднесуточной температурой и наступлением фенологических фаз наиболее четко прослеживается в первой половине вегетационного периода. Прохождение полного фенологического цикла демонстрирует хорошую адаптацию вида на западном пределе своего ареала. Выявлена высокая корреляционная зависимость между начальными, конечными фазами вегетации, среднесуточной температурой воздуха и суммой положительных температур, что описано линейным уравнением.

Ключевые слова: лиственница сибирская, сезонное развитие, вегетация, цветение, сумма положительных температур, фенологическая вариация

Ссылка для цитирования: Карбасникова Е.Б., Бабич Н.А., Карбасников А.А. Особенности сезонного развития лиственницы (*Larix Mill.*) в условиях южной подзоны тайги // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 3. С. 53–59. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-3-53-59

Сезонное развитие древесных растений служит ярким примером взаимодействия растительного организма и внешней среды. Прохождение деревом всех фенологических фаз является важнейшим системным показателем особенностей вида, заложенных генетически, кроме того определяет диапазон его приспособительных возможностей к изменению природных факторов, которые могут прямо или косвенно повлиять на развитие растения [1].

Предопределяющими параметрами успешного роста растения в различных частях ареала является совпадение ритмов сезонного развития с изменениями окружающей среды. Информативность и достоверность комплекса многолетних фенологических показателей древесных растений как обязательного компонента их таксономической диагностики, возрастает при тесном сочетании их биоритма с показателями динамики местного фенологического календаря. В связи с этим, актуально изучение особенностей сезонного развития арборифлоры бореальной зоны.

В лесохозяйственной практике данные фенологических наблюдений относятся к важной

информации. Они незаменимы при разработке способов и сроков проведения мероприятий по защите леса от вредителей, позволяют сделать прогнозы урожая семян, а также запланировать их сбор. Прохождение растением фенологических фаз в диалектическом единстве с окружающей средой может служить одним из главных корреляционных признаков для отбора при выращивании видов в новых для них условиях.

Особое внимание следует уделить изучению фенологических особенностей растений, находящихся в экстремальных условиях. Такими условиями можно считать границы ареала вида. При установлении лимитирующих факторов дальнейшего распространения дендрофлоры обязательно исследовать сезонное развитие, в частности в условиях Европейского Севера, где температурный режим определяется как один из показателей, оказывающих влияние на продуктивность древостоев.

В результате изучения учеными сезонного развития лиственницы сибирской в различных регионах России и за ее пределами [2–13] для некоторых регионов установлены даты наступления фенофаз, выявлена корреляционная зависимость и др.

Однако для условий Вологодской обл. этот вопрос недостаточно изучен [14–16], но поскольку по ее территории проходит граница ареала данной породы, к проблеме стали проявлять большой интерес, появилась необходимость установления лимитирующих факторов распространения вида.

Территория Вологодской обл. уникальна с точки зрения имеющейся растительности: в южных районах встречаются представители широколиственной флоры, а в северо-восточной части — сибирской. Одним из редких для региона древесных видов признана лиственница сибирская, западная граница распространения которой проходит по территории области. Она охраняется в некоторых заказниках. Лиственница встречается единично в составе сосновых древостоев, расположенных по берегам рек. Имеется опыт ее выращивания в смешанных и чистых лесных культурах [14].

Среди других пород, лиственница выделяется в связи с быстрым ростом, умеренной требовательностью к почвенно-грунтовым условиям и высокой зимостойкостью. Виды, имеющие такие свойства, вызывают огромный интерес для культивирования в бореальной зоне.

Цель работы

Цель работы — изучение особенностей сезонного развития лиственницы сибирской в условиях южной подзоны тайги и установление его зависимости от климата.

Материалы и методы

Объектом для проведения исследований был выбран дендрологический сад ФГБОУ ВО «Вологодской государственной молочнохозяйственной академии им. Н.В. Верещагина», в котором лиственница сибирская представлена в достаточном количестве, для обеспечения достоверности стационарных фенологических наблюдений. Расположен объект в южно-таежном лесорастительном районе. Возраст лиственниц в настоящее время составляет 26 лет. Аллейные посадки были сформированы посадкой крупномерных саженцев, привезенных из ландшафтного заказника «Лиственничный бор» Верховажского р-на Вологодской обл.

Фенологические наблюдения за лиственницей сибирской на территории объекта выполнялись в течение пяти лет (2014–2018). При выполнении работ использовался интегральный метод, который включал в себя проведение наблюдений за изменениями климатических факторов (температуры воздуха и количества атмосферных осадков) и наступлением фаз развития.

При проведении работ по изучению сезонного развития и установлению средних дат наступления фаз руководствовались стандартными ме-

тодическими подходами, которые основаны на методе фиксации фенофаз [2, 17–19].

Под сезонным развитием растения следует понимать последовательность в наступлении фенологических фаз, которая определяется изменениями климатических условий в течение года.

У голосеменных растений фазе бутонизации соответствует фаза обособления на побегах микро- и макростробилов, а фазе цветения — фаза пыления.

За начало наступления определенной фазы принимается тот день, когда в нее вступит не менее 10 % растений данного вида, за массовое наступление фазы — день, когда в нее вступит не менее 50 % экземпляров данного вида, произрастающих на объекте наблюдений.

Математико-статистические методы обработки данных использованы для регрессионного анализа полученных результатов. Для этой цели применялась программа Regre, в которой была изучена зависимость между сроками наступления фенодат и климатических факторов.

Результаты и обсуждение

В течение вегетационного периода лиственница сибирская проходит четыре основные фенологические фазы: распускание хвои, пыление, созревание шишек и семян, опадение хвои. Наступление каждой фазы сезонного развития и ее продолжительность тесно связаны со среднесуточной температурой воздуха в данный период. Продолжительность одной и той же фенологической фазы соответствует особенностям вида, тесно связана с климатическими характеристиками внешней среды и изменяется по годам (табл. 1).

Вегетация лиственницы в условиях дендрологического сада начинается раньше, чем у местных видов древесных растений. Ее начало приходится на конец второй декады апреля (в среднем 19 апреля), при накоплении суммы положительных температур 72,8 °С. Среднесуточная температура данного периода характеризуется значениями выше +5 °С. Количество атмосферных осадков в этот период обычно незначительное и изменяется в пределах 0,5...1,5 мм.

Первыми начинают распускаться почки на укороченных побегах, а также пазушные почки. Верхушечные почки начинают развитие через 5...7 дней. Быстрее трогаются почки в нижней и средней частях кроны, затем — в верхней. Период от начала распускания почек на укороченных побегах до распускания верхушечной почки осевого побега довольно растянут и составляет в среднем 15...18 дней. Большое значение в этот период имеет температура воздуха ($r = 0,4...0,9$; r — коэффициент корреляции). Одновременно с вегетативными раскрываются и генеративные почки [16].

Т а б л и ц а 1

Характеристика фаз сезонного развития лиственницы сибирской

Characteristics of the Siberian larch seasonal development phases

Фаза сезонного развития	Средняя дата наступления	Продолжительность фазы, дни	Среднесуточная температура воздуха, °С	Сумма положительных температур, °С	Количество осадков, мм
Распускание хвои					
Набухание почек	19.04	3	5,3	72,8	1,2
Распускание почек	21.04	5	5,5	85,8	1,5
Развертывание хвои	26.04	10	10,2	116,1	1,5
Полное охвоение	06.05	4	11,7	240,0	0,1
Пыление					
Начало пыления	25.04	16	5,4	101,8	2,0
Массовое пыление	11.05	7	14,7		0,5
Окончание пыления	18.05	6	12,1	313,6	0,8
Созревание шишек и семян					
Появление зрелых шишек	20.09	11	8,5	1840,3	6,4
Массовое созревание шишек	01.10	14	6,7	1900,2	7,1
Появление осенней окраски хвои и ее опадение					
Появление осенней окраски	13.09	17	9,8	1893,2	1,8
Начало опадения хвои	30.09	10	6,8	1910,2	2,0
Окончание опадения хвои	23.10	21	0,7	1951,4	8,5

После преодоления температурного порога в $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ наблюдается распускание хвои. Как правило, это происходит к концу апреля (средняя дата наступления фенологической фазы — 26 апреля). Продолжительность периода распускания хвои наименьшая среди всех фенологических фаз и составляет 22 дня. Полное охвоение деревьев лиственницы наблюдается в первой декаде мая (в среднем 6 мая).

Важной стадией развития репродуктивных органов голосеменных видов является пыление. Для лиственницы на изучаемом объекте это весьма длинный период, который продолжается 29 дней. Первые признаки пыления отмечаются в конце апреля (25.04) при среднесуточной температуре воздуха $+5,4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Массово данная фенофаза наблюдается, когда температура воздуха поднимается выше $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Средняя температура воздуха за период цветения (25.04–18.05) составляет $10,7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Заканчивается пыление во второй декаде мая [16, 18].

Довольно часто в условиях южно-таежного лесорастительного района в начале мая наблюдается возврат холодов, когда температура воздуха опускается ниже $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Такое явление отрицательно сказывается на урожайности семян. Также на урожай семян большое влияние оказывает количество осадков в период цветения, чем их больше, тем урожай будет меньше ($r = 0,5...0,8$).

Генеративные почки у лиственницы хорошо различимы за счет большего размера (в два раза крупнее, чем вегетативные). Они имеют округлую форму. Мужские колоски в виде желто-зеленых шариков раскрываются на 2–3 дня раньше жен-

ских, розовых колосков. Пыление продолжается чуть больше двух недель и заканчивается в третьей декаде мая.

Хвоя достигает максимальных размеров в конце июня. В это же время начинают закладываться новые почки. Первыми они образуются на укороченных побегах, затем в пазухах удлиненных побегов и последними — верхушечные почки на осевых побегах.

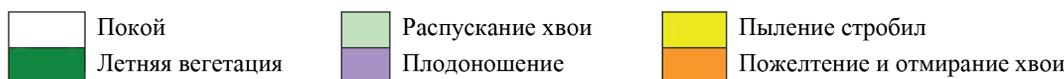
В начале второй декады сентября (13 сентября), когда температура воздуха опускается ниже $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ и образование хлорофилла останавливается, хвоя приобретает светло-желтый цвет. Данная фенологическая фаза продолжается более двух недель (17 дней).

Шишки созревают около 25 дней, после чего созревшие семена начинают высыпаться. Оптимальным сроком для сбора семян является период с 20 сентября по 1 октября. При более ранней заготовке существует значительная вероятность получения незрелых семян, что снижает их качество. После созревания шишек семена из них начинают высыпаться.

Хвоепад очень растянут и продолжается более одного месяца (до ноября). Начало хвоепада наблюдается в конце сентября — октябре (30.09–23.10) и продолжается 31 день. Важное значение имеет тот факт, что до наступления морозов опадение хвои заканчивается, что свидетельствует о том, что к зиме растение успевает подготовиться до ее наступления. На основании полученных данных составлен фенологический спектр (рисунок).



Условные обозначения:

Фенологический спектр лиственницы сибирской
Phenological spectrum of Siberian larch

Продолжительность периода вегетации (19.04–23.10) в дендрологическом саду Вологодской ГМХА составляет 187 ± 5 дней. В условиях ГБС РАН период вегетации лиственницы составляет 185 ± 6 дней. Короткий период вегетации характерен для морозоустойчивых видов, что позволяет им дать полноценное потомство в условиях сурового климата [11]. При анализе полученных данных установлено, что лиственница относится к фенологической вариации с коротким периодом формирования урожая.

Связь между среднесуточной температурой воздуха и наступлением фенологических фаз наиболее четко прослеживается в первой половине вегетационного периода ($r = 0,4 \dots 0,9$). Во второй половине вегетационного периода не столько важны пороги температуры воздуха ($r = 0,1 \dots 0,4$), сколько сумма тепла ($r = 0,8$). Данную связь можно проследить при сопоставлении дат начала фенологических периодов и показателей суммы положительных температур. Вегетация лиственницы наступает при накоплении суммы положительных температур воздуха в сумме $72,8 \text{ }^\circ\text{C}$. Первое пыление стробил наблюдается уже при накоплении тепла $101,8 \text{ }^\circ\text{C}$, но для массового цветения требуется намного больше тепла ($313,6 \text{ }^\circ\text{C}$).

Больше всего растянуты во временном плане периоды летней вегетации и созревания семян. В это же время растение накапливает больше всего тепла и к массовому созреванию шишек и семян сумма положительных температур составляет $2642,2 \text{ }^\circ\text{C}$, после чего начинается хвоепад.

При проведении регрессионного анализа установлена линейная зависимость влияния экологических факторов на сезонное развитие лиственницы. Влияние температуры воздуха на наступление фенологических фаз можно описать уравнением

$$y = Ax_1 + Bx_2 + C,$$

где y — дата наступления фенологической фазы;
 x_1 — дата перехода среднесуточной температуры воздуха через $0 \text{ }^\circ\text{C}$;
 x_2 — среднесуточная температура воздуха, $^\circ\text{C}$.

Т а б л и ц а 2

Регрессионный анализ наступления
фенологических фаз

Regression analysis of the phenological phases beginning

Фенологическая фаза	Уравнение
Набухание почек	$y = 52,3 + 0,34x_1 - 0,75x_2$
Распускание почек	$y = 79,2 - 0,02x_1 + 1,52x_2$
Развертывание хвои	$y = 180,4 + 0,12x_1 - 1,06x_2$
Появление осенней окраски	$y = 140,6 + 0,13x_1 - 0,78x_2$
Начало опадения хвои	$y = 106,8 + 0,08x_1 + 1,72x_2$

Уравнения, отображающие влияние температуры воздуха и дат наступления фенологических фаз, приведены в табл. 2.

Уравнения, полученные в результате регрессионного анализа, можно использовать для прогнозирования сроков наступления фенологических фаз в зависимости от температуры воздуха.

Деревья обладают наименьшей пластичностью среди всех растительных организмов в приспособлении к неблагоприятным факторам внешней среды, поэтому их полноценное развитие возможно лишь в тех условиях, которые отвечают их видовым особенностям. I.N. Tretyakova (2006) и Н.В. Паутова (2011) в своих работах утверждают, что в природе очень редко встречается идеальное сочетание биологических свойств растений и условий их существования, поскольку абиотические факторы среды в годичном цикле чрезвычайно изменчивы [19, 6].

Полученные данные позволяют определить районы, в которых может культивироваться лиственница. Зная суммы активных температур воздуха конкретного региона, можно оценить возможности выращивания вида на его территории [20]. Для нормальной жизнедеятельности лиственницы требуется не менее $1900 \text{ }^\circ\text{C}$ накопленного тепла. И если даты прохождения фенологических фаз могут меняться в зависимости от погодных условий, то данные по накоплению суммы положительных температур воздуха остаются более или менее постоянными.

Выводы

Лиственница в условиях южно-таежного лесорастительного района проходит все стадии сезонного развития. Начало ее вегетации приходится на конец второй декады апреля, при преодолении температурного порога в +5 °С. Сумма положительных температур к этому моменту достигает 72,8 °С.

Пыление стробил отмечается в начале мая, когда оптимальная температура для данной фазы развития составляет 10–15 °С. Для массового пыления требуется накопленного тепла 313,6 °С. Окончание вегетационного периода наблюдается при накоплении суммы положительных температур более 1900 °С.

Оптимальным временем для сбора семенного сырья является период с 20 сентября по 1 октября. На урожайность значительное влияние оказывает количество осадков в период цветения, а также отсутствие заморозков в начале мая.

Продолжительность периода вегетации составляет около 187 дней. Для деревьев такой период считается коротким и характерен для морозоустойчивых растений.

В результате проведенной работы установлена высокая корреляционная зависимость между начальными и конечными фазами вегетации со среднесуточной температурой воздуха и суммой положительных температур.

Для таких фаз развития, как набухание и распускание почек, развертывание хвои, появление осенней окраски и начало опадения семян установлена линейная зависимость даты наступления фаз от среднесуточной температуры воздуха, и они описаны линейным уравнением.

Результаты проведенного исследования за сезонным развитием лиственницы сибирской в южно-таежном районе европейской части РФ позволяет установить взаимосвязь фенологических фаз с температурами этого периода. Прохождение полного фенологического цикла демонстрирует хорошую адаптацию вида на западной границе своего ареала.

Корреляция между датами наступления той или иной фазы с суммой положительных температур позволяет моделировать их установление в последующие годы. Полученную информацию можно использовать при разработке рекомендаций по выращиванию, уходу, сбору семян, защите от вредителей и т. д.

Для использования лиственницы сибирской в озеленении населенных пунктов большое значение имеют сроки наступления таких периодов, как распускание хвои, пыление стробил, появление шишек, осеннее расцветивание хвои. Установление этих дат позволяет создавать декоративные композиции с наивысшим периодом декоративности.

Список литературы

- [1] Бабич Н.А., Карбасникова Е.Б., Долинская И.С. Интродуценты и экстразональные виды в урбанизированной среде (на примере г. Вологды). Архангельск: ИПЦ САФУ, 2012. 184 с.
- [2] Булыгин Н.Е., Кулагин Ю.Г. Фенологические особенности некоторых видов *Larix* Mill. в Санкт-Петербурге // Растительные ресурсы, 2000. Вып. 3. С. 39–47.
- [3] Мерзленко М.Д., Мельник П.Г., Коженкова А.А. Географические культуры лиственницы в Серебряноборском опытном лесничестве // Леса Евразии — леса Поволжья: материалы XVII Междунар. конф. молодых ученых, посвященной 150-летию со дня рождения профессора Г.Ф. Морозова, 95-летию Казанского государственного аграрного университета и году экологии в России. Казань, 22–28 октября 2017 г. М.: ООО ИПЦ «Маска», 2017. С. 154–156.
- [4] Кищенко И.Т. Влияние климатических факторов на сезонный рост деревьев лиственных лесобразующих видов в таежной зоне // ИВУЗ Лесной журнал, 2017. № 1. С. 51–63.
- [5] Карасева М.А., Карасев В.Н., Маторкин А.А. Физиологическая оценка устойчивости лиственницы сибирской в Среднем Поволжье // Хвойные бореальной зоны, 2003. Т. XXI. № 1. С. 27–35.
- [6] Паутова Н.В. Особенности фенологического развития и адаптации лиственницы сибирской в условиях Европейского Северо-Востока // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 2011. Т. 13. № 1 (14). С. 1020–1023.
- [7] Плаксина И.В. Особенности роста и метаболизма лиственницы сибирской в условиях фитоценологического стресса // Хвойные бореальной зоны, 2008. Т. XXV. № 3–4. С. 277–283.
- [8] Лобова С.Л. Производительность и качество древесины лиственницы в географических культурах юго-восточного Подмосковья // Леса Евразии — Большой Алтай: материалы XV Междунар. конф. молодых ученых, посвященной 150-летию со дня рождения профессора Г.Н. Высоцкого. Барнаул, 13–20 сентября 2015 г. М.: МГУЛ, 2015. 220 с.
- [9] Тюкавина О.Н., Грязькин А.В. Температурный режим стволов липы, клена и лиственницы в условиях г. Архангельска // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии, 2015. Вып. 210. С. 58–67.
- [10] Тупик П.В. Особенности фенологического развития лиственницы в условиях Беларуси // Труды БГТУ, 2009. № 17. С. 2015–2016.
- [11] Merklová L., Bednářová E. Results of a phenological study of the tree layer of a mixed stand in the region of the Dražanská vrchovina Upland // J. of Forest Science, 2008, no. 54, pp. 294–305.
- [12] Botvich I. Yu., Pisman T. I., Shevyrnogov A. P. Phenological Characterization of Forest Vegetation in Russia (the Krasnoyarskii Krai) Based on Satellite Data // J. of Siberian Federal University. Engineering & Technologies, 2018, no. 11(8), pp. 974–981.
- [13] Lukkarinen A.J., Ruotsalainen S., Nikkanen T., Peltola H. Survival, height growth and damages of Siberian (*Larix sibirica* Ledeb.) and Dahurian (*Larix gmelinii* Rupr.) larch provenances in field trials located in southern and northern Finland // Silva Fennica, 2010, no. 44 (5), pp. 727–747.
- [14] Грибов С.Е., Карбасникова Е.Б., Карбасников А.А. Лесоводственная оценка состояния лиственницы Сукачева (*Larix sukaczewii*) в ландшафтном заказнике «Лиственничный бор» Верховажского района Вологодской области // Молочнохозяйственный вестник, 2015. № 1(17). С. 7–14.

- [15] Грибов С.Е., Карбасников А.А., Карбасникова Е.Б., Корчагов С.А. Оценка перспективности использования лиственницы сибирской (*Larix sibirica*) в озеленении г. Вологды // ИВУЗ Лесной журнал, 2017. № 2. С. 95–106.
- [16] Карбасников А.А. Лесоводственно-биологические особенности роста и развития лиственницы в условиях Вологодской области: дис. ... канд. с.-х. наук. Вологда, Молочное, 2018. 166 с.
- [17] Малаховец П.М., Тисова В.А. Фенологические наблюдения за сезонным развитием деревьев и кустарников. Архангельск: АГТУ, 1999. 47 с.
- [18] Рунова Е.М., Аношкина Л.В. Морозоустойчивость деревьев рода *Populus*, используемых в озеленении городов Восточной Сибири // Успехи современного естествознания, 2018. № 11. С. 66–71.
- [19] Tretyakova I.N., Vyazovetskova A.S., Ivanova A.I. Induction of androgenic Cultures of Siberian Larch (*Larix sibirica* Ledeb.) // Eurasian J. of Forest Research. Hokkaido: Hokkaido University Forests, 2006, pp. 37–44.
- [20] Тимофеев В.П. Лесные культуры лиственницы. М.: Лесная пром-сть, 1977. 216 с.

Сведения об авторах

Карбасникова Елена Борисовна — канд. с.-х. наук, доцент кафедры лесного хозяйства ФГБОУ ВО «Вологодская государственная молочнохозяйственная академия им. Н.В. Верещагина», helen15@yandex.ru

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

Карбасников Александр Алексеевич — канд. с.-х. наук, ФГБОУ ВО «Вологодская государственная молочнохозяйственная академия им. Н.В. Верещагина», Alexkarbon@yandex.ru

Поступила в редакцию 31.01.2020.

Принята к публикации 10.03.2020.

PECULIARITIES OF LARCH (*LARIX MILL.*) SEASONAL DEVELOPMENT IN CONDITIONS OF SOUTH TAIGA SUB-ZONE

E.B. Karbasnikova¹, N.A. Babich², A.A. Karbasnikov¹

¹Vologda State Dairy Academy named after N.V. Vereshchagin, 2, Shmidt st., 160555, Vologda, Molochnoe, Russia

²Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, 17, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 163002, Arkhangelsk, Russia

helen15@yandex.ru

Seasonal development of woody plants is closely linked to environmental factors. It is impossible to study species growing in its geographic area without defining the compliance phenological rhythms and environmental changes. It is particularly relevant to have research data when studying the adaptation of species and identifying the causes that limit their further dispersal. Siberian larch (*Larix sibirica* Ledeb) grows along the Western boundary of the studied area. It is listed as a rare plant in the Red data book of the Vologda region. The average dates of the phenological phases beginning and their relationship with air temperature and precipitation are established, a linear relationship between air temperature and phenological phases is revealed. The results of field studies are presented. Larch on the border of the area follows all phases of seasonal development, the beginning of the growing season of larch occurs at the end of the second decade of April, with the breaching of the temperature threshold of +5 °C; strobilus pollen dispersion is observed in early May, the optimum temperature for flowering is in the range of +10...15 °C; the end of the vegetation period is observed when the accumulation amount of the above zero temperature more 1900 °C; the optimal timing of collection of seed material is the period from 20 September to 1 October. The relationship between average daily temperature and beginning of phenological phases was observed most clearly in the first half of the growing season. The complete phenological cycle shows a good adaptation of the species at the Western border of its range. High correlation between the initial and final phases of the growing season and average air temperature and sum of above zero temperatures is described by a linear equation.

Keywords: Siberian larch, seasonal development, vegetation, flowering, the sum of positive temperatures, phenological variation

Suggested citation: Karbasnikova E.B., Babich N.A., Karbasnikov A.A. *Osobennosti sezonnogo razvitiya listvenitsy (Larix Mill.) v usloviyakh yuzhnoy podzony taygi* [Peculiarities of Larch (*Larix Mill.*) seasonal development in conditions of South Taiga sub-zone]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 3, pp. 53–59. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-3-53-59

References

- [1] Babich N.A., Karbasnikova E.B., Dolinskaya I.S. *Introdutsenty i ekstrazonal'nye vidy v urbanizirovannoy srede (na primere g. Vologdy)* [Introduced and extrazonal species in an urban environment (for example, Vologda)]. Arxangelsk: IPCz SAFU, 2012, 184 p.
- [2] Bulygin N.E., Kulagin Yu.G. *Fenologicheskie osobennosti nekotorykh vidov Larix Mill. v Sankt-Peterburge* [Phenological features of some species of *Larix Mill.* in Saint Petersburg]. *Rastitel'nye resursy* [Plant resources], 2000, v. 3, pp. 39–47.

- [3] Merzlenko M.D., Mel'nik P.G., Kozhenkova A.A. *Geograficheskie kul'tury listvennitsy v Serebryanoborskom opytном lesnichestve* [Geographical culture of larch in Serebryanoborskiy experimental forest area]. *Lesa Evrazii — lesa Povolzh'ya: materialy XVII Mezhdunarodnoy konferentsii molodykh uchenykh, posvyashchennoy 150-letiyu so dnya rozhdeniya professora G.F. Morozova, 95-letiyu Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta i godu ekologii v Rossii* [Eurasian forests — Volga forests: proceedings of the XVII International Conference of Young Scientists dedicated to the 150th birthday of Professor G.F. Morozov, the 95th anniversary of Kazan State Agrarian University and the year of ecology in Russia]. Moscow: Maska, 2017, pp. 154–156.
- [4] Kishchenko I.T. *Vliyaniye klimaticheskikh faktorov na sezonnyy rost derev'ev listvennykh lesoobrazuyushchikh vidov v taezhnoy zone* [Influence of climatic factors on the seasonal growth of deciduous forest-forming trees in the taiga zone] *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2017, no. 1, pp. 51–63.
- [5] Karaseva M.A., Karasev V.N., Matorkin A.A. *Fiziologicheskaya otsenka ustoychivosti listvennitsy sibirskoy v Srednem Povolzh'e* [Physiological assessment of the stability of Siberian larch in the Middle Volga region] // *Khvoynye boreal'noy zony* [Coniferous of the boreal zone], 2003, t. XXI, no. 1, pp. 27–35.
- [6] Pautova N.V. *Osobennosti fenologicheskogo razvitiya i adaptatsii listvennitsy sibirskoy v usloviyakh Evropeyskogo Severo-Vostoka* [Features of the phenological development and adaptation of Siberian larch in the European North-East]. *Izvestiya Samarского nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk* [Proceedings of the Samara scientific center of the Russian Academy of Sciences], 2011, t. 13, no. 1 (14), pp. 1020–1023.
- [7] Plaksina I.V. *Osobennosti rosta i metabolizma listvennitsy sibirskoy v usloviyakh fitotsenoticheskogo stressa* [Features of growth and metabolism of Siberian larch under phytocenotic stress] *Khvoynye boreal'noy zony* [Coniferous of the boreal zone], 2008, t. XXV, no. 3–4, pp. 277–283.
- [8] Lobova S.L. *Proizvoditel'nost' i kachestvo drevesiny listvennitsy v geograficheskikh kul'turakh yugo-vostochnogo Podmoskov'ya* [Productivity and quality of larch wood in geographical cultures of the South-Eastern Moscow region] *Lesa Evrazii — Bol'shoy Altay: Materialy XV Mezhdunarodnoy konferentsii molodykh uchenykh, posvyashchennoy 150-letiyu so dnya rozhdeniya professora G.N. Vysotskogo* [Eurasia Forests — Big Altai: Materials of the XV International Conference of Young Scientists dedicated to the 150th anniversary of Professor G.N. Vysotsky]. Moscow: MGUL, 2015, 220 p.
- [9] Tyukavina O.N., Gryaz'kin A.V. *Temperaturnyy rezhim stvolov lipy, klenu i listvennitsy v usloviyakh g. Arkhangel'ska* [Temperature regime of the trunks of lindens, maples and larch in the conditions of Arkhangelsk]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [Proceedings of the Saint Petersburg forestry Academy], 2015, v. 210, pp. 58–67.
- [10] Tupik P.V. *Osobennosti fenologicheskogo razvitiya listvennitsy v usloviyakh Belarusi* [Peculiarities of larch phenological development in Belarus] // *Trudy BGTU* [Works of BSTU], 2009, no. 17, pp. 2015–2016.
- [11] Mercklová L., Bednářová E. Results of a phenological study of the tree layer of a mixed stand in the region of the Dražanská vrchovina Upland. *J. of forest science*, 2008, no. 54, pp. 294–305.
- [12] Botvich I. Yu., Pisman T. I., Shevyrnogov A. P. Phenological Characterization of Forest Vegetation in Russia (the Krasnoyarskii Krai) Based on Satellite Data. *J. of Siberian Federal University. Engineering & Technologies*, 2018, no. 11(8), pp. 974–981.
- [13] Lukkarinen A.J., Ruotsalainen S., Nikkanen T., Peltola H. Survival, height growth and damages of Siberian (*Larix sibirica* Ledeb.) and Dahurian (*Larix gmelinii* Rupr.) larch provenances in field trails located in southern and northern Finland. *Silva Fennica*, 2010, no. 44 (5), pp. 727–747.
- [14] Gribov S.E., Karbasnikova E.B., Karbasnikov A.A. *Lesovodstvennaya otsenka sostoyaniya listvennitsy Sukacheva (Larix Sukaczewii) v landshaftnom zakaznike «Listvennichmyy bor» Verkhovazhskogo rayona Vologodskoy oblasti* [Forestry assessment of the state of Sukachev larch (*Larix Sukaczewii*) in the landscape reserve «Larch forest» of Verkhovazhsky district of Vologda region] // *Molochnokhozyaystvennyy vestnik* [Dairy Bulletin], 2015, no. 1 (17), pp. 7–14.
- [15] Gribov S.E., Karbasnikov A.A., Karbasnikova E.B., Korchagov S.A. *Otsenka perspektivnosti ispol'zovaniya listvennitsy sibirskoy (Larix sibirica) v ozelenenii g. Vologdy* [Evaluation prospects for using Siberian larch (*Larix sibirica*) in the Vologda region]. *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2017, no. 2, pp. 95–106.
- [16] Karbasnikov A.A. *Lesovodstvenno-biologicheskie osobennosti rosta i razvitiya listvennitsy v usloviyakh Vologodskoy oblasti* [Forest-biological features of larch growth and development in the Vologda region]. *Dis. Cand. Sci. (Agric.)*. Vologda-Molochnoe, 2018, 166 p.
- [17] Malakhovets P.M., Tisova V.A. *Fenologicheskie nablyudeniya za sezonnyim razvitiem derev'ev i kustarnikov* [Phenological observations of seasonal development of trees and shrubs]. Arxangel'sk: AGTU, 1999, 47 p.
- [18] Runova E.M., Anoshkina L.V. *Morozoustoychivost' derev'ev roda Populus, ispol'zuemykh v ozelenenii gorodov Vostochnoy Sibiri* [Frost resistance of trees of the genus *Populus* used in landscaping cities of Eastern Siberia] *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Successes in Modern Natural Sciences], 2018, no. 11, pp. 66–71.
- [19] Tretyakova I. N., Vyazovetskova A. S., Ivanova A. I. Induction of androgenic Cultures of Siberian Larch (*Larix sibirica* Ledeb.). *Eurasian J. of Forest Research*. Hokkaido: Hokkaido University Forests, 2006, pp. 37–44.
- [20] Timofeev V.P. *Lesnye kul'tury listvennitsy* [Larch forest plantation]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forest industry], 1977, 216 p.

Authors' information

Karbasnikova Elena Borisovna — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Department of Forestry of the Vologda State Dairy Academy named after N.V. Vereshchagin, helen15@yandex.ru

Babich Nikolay Alekseevich — Dr. Sci. (Agriculture), Professor of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, les@agtu.ru

Karbasnikov Aleksandr Alekseevich — Cand. Sci. (Agriculture), Vologda State Dairy Academy named after N.V. Vereshchagin, Alexkarbon@yandex.ru

Received 31.01.2020.

Accepted for publication 10.03.2020.

УДК 630*232.11

DOI: 10.18698/2542-1468-2020-3-60-65

ОПЫТ ВЫРАЩИВАНИЯ СОСНЫ СКРУЧЕННОЙ (*PINUS CONTORTA*) В ВОЛОГОДСКОЙ ОБЛАСТИ

С.А. Корчагов, С.Е. Грибов, Р.С. Хамитов

ФГБОУ ВО «Вологодская государственная молочнохозяйственная академия им. Н.В. Верещагина», 160555, Вологодская обл., г. Вологда, с. Молочное, ул. Шмидта, д. 2

kors45@yandex.ru

Проведена оценка показателей роста и развития сосны скрученной (*Pinus contorta*), выращиваемой в лесных культурах на территории Вологодской обл. Выявлено, что сосна скрученная отличается интенсивным и относительно равномерным ростом по диаметру и высоте ствола. Основная часть деревьев представлена здоровыми экземплярами без повреждений и пороков, в культурах начался естественный процесс очищения стволов от сучьев. Древесина имеет базисную плотность, соответствующую требованиям, предъявляемым к сырью для целлюлозно-бумажной промышленности.

Ключевые слова: интродукция, лесные культуры, сосна скрученная, сохранность, плотность древесины

Ссылка для цитирования: Корчагов С.А., Грибов С.Е., Хамитов Р.С. Опыт выращивания сосны скрученной (*Pinus contorta*) в Вологодской области // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 3. С. 60–65. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-3-60-65

В соответствии со Стратегией развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года [1] основной целью лесного хозяйства является достижение устойчивого лесопользования, инновационного и эффективного развития, использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов, обеспечивающих опережающий рост лесного сектора экономики, социальную и экологическую безопасность страны, безусловное выполнение международных обязательств России в части лесов. Одной из важнейших задач в рамках достижения поставленной цели является повышение продуктивности и улучшение породного состава лесов на землях различного целевого назначения, решение которой, наряду с другими методами, возможно путем научно обоснованной интродукции древесных растений.

Интродукция новых перспективных видов для ускоренного выращивания древесины — достаточно эффективное мероприятие при лесовосстановлении [2, 3]. Еще в 1917 г. финский ученый-ботаник А. Каяндер говорил, что «... существует несколько причин для интродукции деревьев, но с точки зрения лесоводства следующие три являются наиболее важными. Во-первых, интродуцированные виды могут иметь более высокую производительность древесины по сравнению с нативными видами. Во-вторых, они могут обладать некоторыми лесоводственными преимуществами над местными видами, такими, как устойчивость к неблагоприятным факторам окружающей среды или вредителям и болезням. В-третьих, интродуценты могут обладать некоторыми особыми качествами древесины или другими свойствами, которые отсутствуют у местных видов» [4].

Цель работы

Цель исследования — оценка показателей роста и развития сосны скрученной (*Pinus contorta*), выращиваемой в лесных культурах на территории Сокольского р-на Вологодской обл.

Объекты и методика исследований

Как известно, сосна скрученная, естественно произрастающая в Северной Америке, обладает широкой экологической амплитудой. Ее подвиды адаптированы к существованию в условиях морского, континентального и субальпийского типов климата. Она способна формировать насаждения практически в любом типе лесорастительных условий, в том числе на крайне сухих и переувлажненных почвах [5].

Опыт выращивания сосны скрученной апробирован в Ирландии, Исландии, Великобритании, Дании, Норвегии, Финляндии, Швеции, Новой Зеландии [4–6]. Самые большие плантации сосны скрученной созданы в Швеции — к концу XX в. их площади занимали более 600 тыс. га [7].

Древесина сосны скрученной пользуется большим спросом в целлюлозно-бумажном производстве, поскольку содержит незначительное количество смолы и при сульфитном процессе варки позволяет производить легко отбеливаемую целлюлозу, пригодную для производства высококачественной газетной и оберточной бумаги.

Выбор сосны скрученной в качестве объекта интродукции в России обусловлен прежде всего стремлением создать постоянную лесосырьевую базу для целлюлозно-бумажной промышленности в Европейско-Уральской зоне.

Отечественный опыт посадок сосны скрученной показал, что Северо-Запад России (Архангельская и Вологодская [8–10], Ленинградская и Новгородская области [11–13], Республика Коми [14, 15] и Карелия [5]) является перспективным регионом для ее выращивания.

Интродукция сосны скрученной на европейском Севере России начата в 1979 г. под руководством В.И. Нилова. В результате было создано около 50 га плантаций сосны скрученной в различных регионах этой территории [9].

В Вологодской обл. первая плантация сосны скрученной заложена в 1990 г. в Алексинском лесничестве Кадниковского лесхоза на площади 1 га. Всего высажено 2,5 тыс. шт. сеянцев. В 1997 г. собран первый урожай – 260 г семян. В 1993 г. в том же лесхозе заложена новая плантация сосны скрученной на площади 10 га. Начиная с 1997 г. Вологодский селекционный центр начал выращивать сеянцы сосны скрученной с закрытой корневой системой из семян, собранных с плантаций в Кадниковском лесхозе. Из посадочного материала селекционного центра созданы декоративные посадки сосны скрученной, расположенные в г. Кадников (59°30' с. ш.; 40°20' з. д.), представленные 136 растениями [10]. Кроме этого, в 1999 г. на территории Сокольского участкового лесничества заложена лесосеменная плантация сосны скрученной на площади 3,0 га, а также высажено 50 экземпляров растений в дендрологическом саду Вологодской государственной молочнохозяйственной академии. Весь посадочный материал предоставлен Вологодским селекционным центром.

В 1989–1991 гг. специалисты лесного хозяйства еще сомневались в целесообразности введения в состав насаждений Вологодской области этого вида, но после 10 лет наблюдений сомнения рассеялись — порода оказалась весьма перспективной для выращивания и использования ее в целлюлозно-бумажной промышленности [16].

Результаты и обсуждение

Исследования показателей роста и развития сосны скрученной выполнялись с использованием общеизвестных лесоводственных [17], лесотаксационных [18] и древесиноведческих [19] методов. Объектом исследования выступили посадки сосны скрученной в Сокольском р-не Вологодской обл., кв. 166, выд. 16 (рис. 1). Приведем краткую характеристику объекта исследования:

Год закладки культур	1999
Площадь, га	3,0
Первоначальная густота, шт./га	2166
Расстояние между рядами, м	3,2 ± 0,1
Шаг посадки, м	2,9 ± 0,4
Количество деревьев в год учета, шт./га ...	1077
Сохранность культур, %	49,7



Рис. 1. Сосна скрученная на объекте исследования
Fig. 1. Shore Pine at the study area

Мероприятия по уходу за посадками сосны скрученной Events for tending Shore Pine

Дата	Наименование и краткая характеристика мероприятия
11.09.1999	Обработка 0,15 % раствором фундазола против Шютте
17.05.2000	Прополка и внесение минеральных удобрений
10.06.2001	Рыхление приствольных кругов с внесением минеральных удобрений
17.05.2002	Рыхление приствольных кругов с внесением минеральных удобрений
15.07.2004	Внесение минеральных удобрений
05.09.2004	Разреживание путем выкопки (142 шт.)
15.08.2005	Разреживание путем уборки мотокустурезом
16.10.2006	Выкашивание травы и мелкого кустарника
10.10.2008	Разреживание путем уборки мотокустурезом

Рельеф на участке — равнинный, почва — мелкоподзолистая супесчаная, тип лесорастительных условий — ельник черничный. Для посадки после сплошной подготовки почвы использовали однолетние сеянцы с закрытой корневой системой. Посадку осуществляли 20–21 мая 1999 г. лесопосадочной трубой «Pottiputki». Сеянцы перед посадкой обрабатывали 0,15 % раствором фундазола.



Рис. 2. Ход роста сосны скрученной по высоте и диаметру ствола в лесных культурах

Fig. 2. The growth of Shore Pine in height and diameter of the trunk in forest crops

После закладки лесных культур проводили мероприятия по уходу за растениями (таблица).

В возрасте 20 лет сосна скрученная сформировала стволы, средние диаметр и высота которых составили 12,2 см и 9,2 м соответственно, средний объем хлыста достиг 0,075 м³. Насаждение характеризуется I классом бонитета и имеет запас стволовой древесины 81 м³/га.

Основная часть деревьев в лесных культурах представлена здоровыми экземплярами сосны скрученной без повреждений и пороков (82,1 %), доля сухостойных (отмерших) деревьев составляет лишь 0,8 % общего числа культивируемых растений. Среди отклонений, встречающихся на деревьях сосны скрученной, отмечены двойная вершина (16,7 %) и облом вершины (0,4 %).

Следует отметить, что сосна скрученная отличается интенсивным ростом как в диаметре, так и в высоте ствола. Средний годичный прирост по диаметру составляет 4,9 мм, по высоте — 51,3 см, что является весьма существенным показателем для условий Вологодской обл. (рис. 2).

Анализируя ход роста, можно отметить его относительное постоянство по годам, так как с момента создания лесных культур не происходило критических воздействий (климатических, антропогенных и др.), отрицательно отразившихся на культивируемых растениях.

Культивируемые растения имеют довольно развитые кроны, что предопределяется биологией вида, а также относительно низкой густотой посадки:

Ширина кроны, м:	
направление С–Ю	4,0 ± 0,13
3–В	3,3 ± 0,13
Среднее значение ширины кроны, м	3,6 ± 0,12
Протяженность зон ствола, м/%:	
бессучковая зона	0,14 ± 0,01 / 1,5
зона сухих сучьев	1,81 ± 0,09 / 19,4
живая крона	7,38 ± 0,21 / 79,1

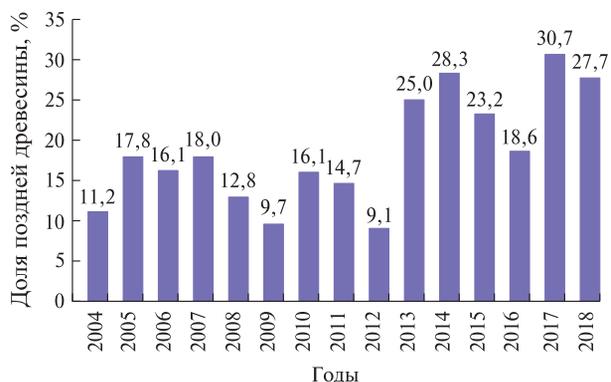


Рис. 3. Динамика доли поздней древесины сосны скрученной в лесных культурах

Fig. 3. Dynamics of Shore Pine late wood proportion in forest crops

Средняя ширина кроны составляет 3,64 м и занимает 79,1 % общей протяженности ствола. В культурах начался естественный процесс очищения стволов от сучьев, протяженность бессучковой зоны и зоны с сухими сучьями занимают 19,4 и 1,5 % соответственно.

Известно, что древесина сосны скрученной находит широкое применение в целлюлозно-бумажной промышленности, в связи с чем, определение качественных характеристик формирующейся древесины как определяющих возможность ее использования вызывает особый практический интерес:

Ширина годичного слоя, см.....	0,49 ± 0,01
Процент поздней древесины, %	21,7 ± 3,1
Плотность при 12 % влажности, кг/м ³	470,0 ± 5,0
Базисная плотность, кг/м ³	379,0 ± 4,0

Одним из основных показателей качества древесины, определяющих возможность ее использования в виде сырья для целлюлозно-бумажной промышленности, является плотность. Известно, что плотность древесины тесно связана с содержанием поздних зон в годичных слоях.

Анализ динамических изменений (рис. 3) свидетельствует о вариации среднего значения поздней древесины в годичных слоях в широких пределах (от 9 до 31 %). Отмечается тенденция существенного увеличения показателя в последнем пятилетии формирования растений, что косвенно указывает на увеличение плотности древесины в этом периоде.

Плотность древесины при влажности 12 % в рассматриваемых лесных культурах составляет в среднем 470 кг/м³, что не уступает средним показателям для сосны скрученной из Архангельской обл. (436 кг/м³) [8] и Республики Карелия (467 кг/м³) [4].

По данным О.И. Полубояринова и Р.Б. Федорова [20], древесина сосны относится к балансам I категории, если ее базисная плотность составляет 345–411 кг/м³. В нашем случае древесина

сосны скрученной, имея среднюю базисную плотность 379 кг/м³, удовлетворяет вышеуказанным требованиям.

Выводы

Таким образом, выращиваемая в условиях Вологодской обл. сосна скрученная отличается интенсивным и относительно равномерным ростом по диаметру и высоте ствола. Древесина сосны имеет базисную плотность, соответствующую требованиям, предъявляемым к сырью для целлюлозно-бумажной промышленности.

В Вологодской обл. накоплен определенный опыт по созданию и выращиванию культур сосны скрученной. Существующие лесокультурные объекты являются базой для организации и проведения дальнейших научных исследований по интродукции древесных растений в регионе.

Список литературы

- [1] Стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 20 сентября 2018 г. № 1989-р. URL: <http://static.government.ru/media/files/cA4eYSe0MOBgNpm5hSavTdlxID77KCTL.pdf>
- [2] Гутый Л.Н., Федорков А.Л. Экспериментальные культуры сосны скрученной в Сыктывкарском лесничестве Республики Коми // ИВУЗ Лесной журнал, 2016. № 1. С. 48–54.
- [3] Захарова А.А., Мерзленко М.Д. Рост культур пихты сибирской при ее интродукции на Смоленско-Московской возвышенности // Леса Евразии – Польские леса: Материалы IX Междунар. конф. молодых ученых, посвященных 145-летию со дня рождения профессора И.К. Пачоского, Москва, 24–30 мая 2009 г. М.: МГУЛ, 2009. С. 126–127.
- [4] Ruotsalainen S. The history of exotic tree species in Finland // Natural resources and bioeconomy studies. Helsinki: Natural Resources Institute Finland, 2017, no. 88, 27 p.
- [5] Раевский Б.В. Селекция и семеноводство сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и сосны скрученной (*Pinus contorta* Dougl. Ex Loud. var. *latifolia* Engelm) на северо-западе таежной зоны России: дис. ... д-ра с.-х. наук. Пертозаводск, 2015. 322 с.
- [6] Segabaden G. Lodgepole pine in Sweden — a situation report // Proceedings of the Meeting of IUFRO WP 2.02.06 and Frans Kempe Symposium on *Pinus contorta* – from Untamed Forest to Domesticated Croup / Ed. D. Lindgren. Umea, 24–28 August 1992 Report 11. Umea: Department

- of Forest Genetics and Plant Physiology Swedish university of Agricultura Sciences, 1993, pp. 238–263.
- [7] Lindelow A, Bjorkman C. Insects on lodgepole pine in Sweden – current knowledge and potential risks // Forest Ecology and Management, 2001, no. 141, pp. 107–116.
 - [8] Стафеев Б.Л. Североамериканская сосна скрученная – перспективная порода для интродукционного испытания в Архангельской области // Вопросы интродукции хозяйственно ценных древесных пород на европейский Север. Архангельск: АИЛиЛХ, 1989. С. 35–43.
 - [9] Демидова Н.А., Дуркина Т.М., Гоголева Л.Г., Быков Ю.С., Парамонов А.А. Результаты 35-летнего испытания сосны скрученной на Европейском Севере России // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии, 2018. Вып. 225. С. 90–105.
 - [10] Бабич Н.А., Андронova М.М. Сосна скрученная — перспективный интродуцент для озеленения малых северных городов // ИВУЗ Лесной журнал, 2014. № 5. С. 155–160.
 - [11] Марков И.А., Жигунов А.В. Лесокультурные испытания перспективных пород-интродуцентов на Северо-западе России // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии, 1999. Вып. 165. С. 20–28.
 - [12] Алексеев В.М., Жигунов А.В., Бондаренко А.С., Бурцев Д.С. Интродукция сосны скрученной в условиях Ленинградской области // ИВУЗ Лесной журнал, 2014. № 3. С. 24–33.
 - [13] Жигунов А.В., Алексеев В.М. Сравнительные лесокультурные испытания пород-интродуцентов и местных лесообразователей в Новгородской области // Леса Евразии — Северный Кавказ: Материалы VIII Междунар. конф. молодых ученых, посвященной 270-летию со дня рождения лесоведа А.Т. Болотова, Сочи, 06–12 октября 2008 г. В 2 т. М.: МГУЛ, 2008. Т. 1. С. 128–130.
 - [14] Федорков А.Л., Туркин А.А. Экспериментальные культуры сосны скрученной в Республике Коми // Лесоведение, 2010. № 1. С. 70–74.
 - [15] Fedorkov A. Variation in shoot elongation patterns in *Pinus contorta* and *Pinus sylvestris* in north-west Russia // Scandinavian J. of Forest research, 2010, no. 25, pp. 208–212.
 - [16] Леса земли Вологодской / под ред. В.В. Корякина. Вологда: Легия, 1999. 296 с.
 - [17] Сукачев В.Н., Зонн С.В. Методические указания к изучению типов леса. М.: АН СССР, 1961. 144 с.
 - [18] Гусев И.И., Калинин В.И. Лесная таксация. Л.: ЛТА, 1988. 61 с.
 - [19] Уголев Б.Н. Древесиноведение и лесное товароведение. М.: Издательский центр «Академия», 2011. 272 с.
 - [20] Полубояринов О.И., Федоров Р.Б. Обоснование выбора древесных пород при выращивании древесины как сырья для целлюлозно-бумажной промышленности // Лесоводство, лесные культуры и почвоведение. Л.: ЛТА, 1990. С. 63–67.

Сведения об авторах

Корчагов Сергей Анатольевич — д-р с.-х. наук, профессор кафедры лесного хозяйства ФГБОУ ВО «Вологодская государственная молочнохозяйственная академия им. Н.В. Верещагина», kors45@yandex.ru

Грибов Сергей Евгеньевич — канд. с.-х. наук, доцент кафедры лесного хозяйства ФГБОУ ВО «Вологодская государственная молочнохозяйственная академия им. Н.В. Верещагина», griboff.s.e@mail.ru

Хамитов Ренат Салимович — д-р с.-х. наук, профессор кафедры лесного хозяйства ФГБОУ ВО «Вологодская государственная молочнохозяйственная академия им. Н.В. Верещагина», r.s.khamitov@mail.ru

Поступила в редакцию 16.10.2019.

Принята к публикации 25.01.2020.

PINE SHORE (*PINUS CONTORTA*) GROWING EXPERIMENT IN VOLOGDA REGION

S.A. Korchagov, S.E. Gribov, R.S. Khamitov

Vologda State Dairy Academy named after N.V. Vereshchagin, 2, Shmidta st., 160555, Vologda, Molochnoe, Russia

kors45@yandex.ru

The growth and development indicators of *Pinus contorta*, grown in forest crops in the Vologda region, were evaluated. It was found that *Pinus contorta* is characterized by intensive and relatively uniform growth in the diameter and height of the trunk. The main part of the trees is represented by healthy specimens without damage and defects, in the cultures the natural process of clearing the trunks from branches has begun. Wood has a basic density that meets the requirements for raw materials for the pulp and paper industry.

Keywords: introduction, forest crops, twisted pine, preservation, wood density

Suggested citation: Korchagov S.A., Gribov S.E., Khamitov R.S. *Opyt vyrashchivaniya sosny skruchennoy (Pinus contorta) v Vologodskoy oblasti* [Pine shore (*Pinus Contorta*) growing experiment in Vologda region]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 3, pp. 60–65. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-3-60-65

References

- [1] *Strategiya razvitiya lesnogo kompleksa Rossiyskoy Federatsii do 2030 goda* [The development strategy of the forest complex of the Russian Federation until 2030]. Utverzhdena rasporyazheniem Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 20 sentyabrya 2018 g. № 1989-r. [Approved by order of the Government of the Russian Federation of September 20, 2018 No. 1989-r.]. Available at: <http://static.government.ru/media/files/cA4eYSe0MObgNpm5hSavTdxID77KCTL.pdf>
- [2] Gutiy L.N., Fedorkov A.L. *Ekspiremental'nye kul'tury sosny skruchennoy v Syktyvkar'skom lesnichestve Respubliki Komi* [Experimental crops of twisted pine in the Syktyvkar forestry of the Komi Republic] *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2016, no. 1, pp. 48–54.
- [3] Zakharova A.A., Merzlenko M.D. *Rost kul'tur pikhty sibirskoy pri ee introduktsii na Smolensko-Moskovskoy vozvysheynosti* [Growth of Siberian fir crops during its introduction into the Smolensk-Moscow Upland] *Lesa Evrazii — Pol'skie lesa: Materialy IX Mezhdunarodnoy konferentsii molodykh uchenykh, posvyashchennykh 145-letiyu so dnya rozhdeniya professora I.K. Pachoskogo* [Forests of Eurasia — Polish Forests: Materials of the IX International Conference of Young Scientists Dedicated to the 145th Birthday of Professor I.K. Pachosko], Moscow, 24–30 May 2009 g. Moscow: MGUL, 2009, pp. 126–127.
- [4] Ruotsalainen S. The history of exotic tree species in Finland. *Natural resources and bioeconomy studies*. Helsinki: Natural Resources Institute Finland, 2017, no. 88, 27 p.
- [5] Raevskiy B.V. *Selektsiya i semenovodstvo sosny obyknovnoy (Pinus sylvestris L.) i sosny skruchennoy (Pinus contorta Dougl. Ex Loud. var. latifolia Engelm) na severo-zapade taezhnoy zony Rossii* [Breeding and seed production of common pine (*Pinus sylvestris* L.) and twisted pine (*Pinus contorta* Dougl. Ex Loud. Var. *Latifolia* Engelm) in the northwest of the taiga zone of Russia] *Dis. Dr. Sci. (Agricultural)*, Pertozavodsk, 2015, 332 p.
- [6] Segabaden G. Lodgepole pine in Sweden — a situation report // *Proceedings of the Meeting of IUFRO WP 02.02.06 and Frans Kempe Symposium on Pinus contorta — from Untamed Forest to Domesticated Croup*. Ed. D. Lindgren. Umea, 24–28 August 1992 Report 11. Umea: Department of Forest Genetics and Plant Physiology Swedish university of Agricultura Sciences, 1993, pp. 238–263.
- [7] Lindelow A, Bjorkman C. Insects on lodgepole pine in Sweden — current knowledge and potential risks. *Forest Ecology and Management*, 2001, no. 141, pp. 107–116.
- [8] Stafeyev B.L. *Severoamerikanskaya sosna skruchennoy — perspektivnaya poroda dlya introduktsionnogo ispytaniya v Arkhangel'skoy oblasti* [Twisted North American pine — a promising breed for introduction testing in the Arkhangel'sk region] *Voprosy introduktsii khozyaystvenno tsennykh drevesnykh porod na Evropeyskiy Sever* [Introduction of economically valuable tree species to the European North]. Arkhangel'sk: AILiLKh, 1989, pp. 35–43.
- [9] Demidova N.A., Durkina T.M., Gogoleva L.G., Bykov Yu.S., Paramonov A.A. *Rezultaty 35-letnego ispytaniya sosny skruchennoy na Evropeyskom Severe Rossii* [The results of a 35-year test of twisted pine in the European North of Russia] *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [Proceedings of the St. Petersburg Forestry Academy], 2018, iss. 225, pp. 90–105.
- [10] Babich N.A., Andronova M.M. *Sosna skruchennoy — perspektivnyy introdutsent dlya ozeleneniya malykh severnykh gorodov* [Twisted pine — a promising introducer for landscaping small northern cities] *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2014, no. 5, pp. 155–160.
- [11] Markov I.A., Zhigunov A.V. *Lesokul'turnye ispytaniya perspektivnykh porod-introdutsentov na Severo-zapade Rossii* [Forest culture tests of promising introduced breeds in the North-West of Russia] *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [Proceedings of the St. Petersburg Forestry Academy], 1999, v. 165, pp. 20–28.
- [12] Alekseev V.M., Zhigunov A.V., Bondarenko A.S., Burtsev D.S. *Introduktsiya sosny skruchennoy v usloviyakh Leningradskoy oblasti* [Introduction of twisted pine in the conditions of the Leningrad region] *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2014, no. 3, pp. 24–33.
- [13] Zhigunov A.V., Alekseev V.M. *Sravnitel'nye lesokul'turnye ispytaniya porod-introdutsentov i mestnykh lesobrazovateley v Novgorodskoy oblasti* [Comparative forest culture tests of introduced species and local forest generators in the Novgorod region] *Lesa Evrazii — Severnyy Kavkaz: Materialy VIII Mezhdunarodnoy konferentsii molodykh uchenykh, posvyashchennykh 270-letiyu so dnya rozhdeniya lesovoda A.T. Bolotova* [Forests of Eurasia — Northern Caucasus: Materials of the VIII International Conference of Young Scientists dedicated to the 270th anniversary of the arborist A.T. Bolotova], Sochi, 06–12 October 2008. In 2 t. Moscow: MSFU, 2008, v. 1, pp. 128–130.

- [14] Fedorkov A.L., Turkin A.A. *Eksperimental'nye kul'tury sosny skruchennoy v Respublike Komi* [Experimental cultures of twisted pine in the Komi Republic] *Lesovedenie* [Forest science], 2010, no. 1, pp. 70–74.
- [15] Fedorkov A. *Variation in shoot elongation patterns in Pinus contorta and Pinus sylvestris in north-west Russia*. *Scandinavian J. of Forest research*, 2010, no. 25, pp. 208–212.
- [16] *Lesa zemli Vologodskoy* [Forests of the land of Vologda]. Vologda: Legiya, 1999, 296 p.
- [17] Sukachev V.N., Zonn S.V. *Metodicheskie ukazaniya k izucheniyu tipov lesa* [Guidelines for the study of forest types]. Moscow: USSR Academy of Sciences, 1961, 144 p.
- [18] Gusev I.I., Kalinin V.I. *Lesnaya taksatsiya* [Forest Taxation]. Leningrad: LTA, 1988, 61 p.
- [19] Ugolev B.N. *Drevesinovedenie i lesnoe tovarovedenie* [Wood Science and Forestry]. Moscow: Izdatel'skiy tsentr «Akademiya» [Publishing Center «Academy»], 2011, 272 p.
- [20] Poluboyarinov O.I., Fedorov R.B. *Obosnovanie vybora drevesnykh porod pri vyrashchivanii drevesiny kak syr'ya dlya tsellyulozno-bumazhnoy promyshlennosti* [Justification of the choice of wood species for growing wood as a raw material for the pulp and paper industry] *Lesovodstvo, lesnye kul'tury i pochvovedenie* [Forestry, forest crops and soil science]. Leningrad: LTA, 1990, pp. 63–67.

Authors' information

Korchagov Sergey Anatol'evich — Dr. Sci. (Agriculture), Professor of the Department of Forestry of the Vologda State Dairy Academy named after N.V. Vereshchagin, kors45@yandex.ru.

Gribov Sergey Evgen'evich — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Department of Forestry of the Vologda State Dairy Academy named after N.V. Vereshchagin, griboff.s.e@mail.ru.

Khamitov Renat Salimovich — Dr. Sci. (Agriculture), Professor of the Department of Forestry of the Vologda State Dairy Academy named after N.V. Vereshchagin, r.s.khamitov@mail.ru.

Received 16.10.2019.

Accepted for publication 25.01.2020.

ПРОДУКТИВНОСТЬ И КАЧЕСТВО ДРЕВЕСИНЫ КЛИМАТИПОВ ЕЛИ В УСЛОВИЯХ ПОДМОСКОВЬЯ

П.Г. Мельник^{1,2}, А.С. Тишков², П.А. Аксенов¹

¹МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

²ФГБУН Институт лесоведения РАН (ИЛАН РАН), 140030, Московская обл., Одинцовский р-н, с. Успенское, ул. Советская, д. 21

melnik_petr@bk.ru

Исследованы 47-летние географические культуры ели в Сенежском участковом лесничестве, расположенном на территории Клинско-Дмитровской гряды в северо-западной части Московской обл. Спектр испытываемых провениенций довольно широк и в меридианном направлении охватывает ареал рода *Picea* от Закарпатья (Центральная Европа, Украина) до Новосибирской обл. (Западная Сибирь, Россия). По высоте лидируют экотипы из Карелии, Ивано-Франковской, Волынской, Львовской областей Украины, Брестской, Минской областей Белоруссии, Черновицкой обл. Украины, Калининградской и Псковской областей России (23,1...24,4 м). Определен показатель среднего диаметра, наилучший результат — у ели из Ивано-Франковской обл. Украины, ее средний диаметр равен 25,3 см, незначительно уступают экотипы ели из Волынской и Закарпатской обл. Украины (24,2 см и 23,0 см соответственно). Приведен высокий показатель среднего диаметра — у провениенции из Томской обл. России (25,6 см), вызванный сильной сбежистостью стволов при низкой сохранности деревьев. Показано, что высоким запасом стволовой древесины характеризуются экотипы из Закарпатской обл. Украины (587 м³/га), Псковской обл. России (577 м³/га), Брестской обл. Белоруссии (553 м³/га), Калининградской обл. России (542 м³/га), Гродненской обл. Белоруссии (530 м³/га), а также из Эстонии (549 м³/га), Латвии (571 м³/га), Литвы, Волынской, Львовской обл. Украины и Минской обл. Белоруссии, превышающие по этому показателю процент относительно контроля (Московская обл. Солнечногорский лесхоз — 469 м³/га — 100 %) на 100...125 %. Наилучшими физико-механическими свойствами обладают экотипы из Гродненской обл. Белоруссии, Черновицкой, Волынской областей Украины и Республики Марий Эл (Россия). Это обеспечило их перспективность для выращивания на плантациях в целях получения древесины повышенной прочности, которую в дальнейшем можно будет использовать в мебельной промышленности или в производстве пиломатериалов. Древесину экотипов ели из Томской и Владимирской областей России, а также из Карелии (Россия) можно применять в целлюлозно-бумажной промышленности.

Ключевые слова: ель, *Picea*, географические лесные культуры, провениенция, экотип, качество древесины

Ссылка для цитирования: Мельник П.Г., Тишков А.С., Аксенов П.А. Продуктивность и качество древесины климатипов ели в условиях Подмосковья // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 3. С. 66–73. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-3-66-73

Повышение продуктивности лесов — важная задача лесного хозяйства. В ее успешном решении важное значение имеет изучение влияния происхождения семян на рост, устойчивость и качество древесины выращиваемых насаждений. На это неоднократно указывали крупнейшие лесоводы и древесиноведы нашей страны [1–5].

Ель, произрастая в обширном ареале, в процессе эволюции оказалась дифференцирована по своим наследственным свойствам. Испытание различных экотипов ели в географических культурах позволяет выявить формы, перспективные для создания плантаций определенного назначения. Подбор форм ели для создания плантаций в целях выращивания древесины для нужд целлюлозно-бумажной промышленности, строительства, получения биотоплива также может быть дифференцированным [6–8].

Цель работы

Цель исследований — изучение роста и продуктивности экотипов ели, выявление взаимосвязи физико-механических свойств древесины и

особенностей формирования ствола в условиях Клинско-Дмитровской гряды (Подмосковье) на основании широкого евроазиатского ареала происхождения.

Объекты и методы исследований

Исследования модельных популяций ели проведены в 2013–2017 гг. на объекте географических культур, созданных в 1967 г. в Сенежском лесничестве Солнечногорского опытного лесхоза Московской обл. Работы по созданию географических культур ели начаты заслуженным лесоводом России канд. с.-х. наук А.М. Пальцевым в 1965 г., когда были получены семена из 107 пунктов СССР, в том числе 80 образцов семян ели из европейской части СССР [9, 10]. Сеянцы выращивались в питомнике Поваровского лесничества, и в 1967 г. в возрасте 2-х лет были высажены на участке площадью 8,9 га в Сенежском лесничестве в кв. 97 с размещением 2,2×1 м при густоте посадки — 4500 шт./га [11].

Дерново-слабоподзолистые среднесуглинистые на покровном суглинке почвы преобладают

на всей площади участка географических культур. Покровный суглинок — безвалунная мелкоземлистая порода, состоит преимущественно из частиц меньше 0,05 мм в диаметре, имеет окраску буровато-желтую, большей частью обладает мелкой пористостью и плотным сложением. Механический состав почв однороден и представлен средними суглинками, которые содержат около 30 % физической глины. Фракция крупной пыли преобладает (около 50 %), песок составляет 17 %, ил — 12 %. Физические и агрохимические свойства средне-суглинистых почв благоприятны для произрастания ели европейской (*Picea abies* (L.) Karst).

Для получения таксационных характеристик на пробных площадях была выполнена инструментальная таксация по достижении лесными культурами ели 49-летнего биологического возраста. В основу методов исследований географических культур ели положены принятые в лесоводстве и лесной таксации приемы изучения насаждений [12, 13]. Для объективной оценки изучаемых провениенций их средние высоты, диаметры, а также запасы стволовой древесины оценивались в долях стандартного отклонения по методике, опубликованной ранее [14]. Ударная твердость определялась по методу А.Х. Певцова на прямоугольных образцах сечением 20×20 мм и длиной вдоль волокон 150 мм, согласно ГОСТ 16483.16–81, при влажности древесины 10...12 % [15]. Качество формирования ствола в географических культурах ели оценивали по 6-балльной системе, руководствуясь методикой ВНИИЛМ, но с некоторыми уточнениями [16]. Данная работа является продолжением ранее выполненных исследований по изучению влияния географической изменчивости на продуктивность и физико-механические свойства древесины ели [17].

Результаты и обсуждение

В результате обработки полевого материала 2013 г. была получена таксационная характеристика географических лесных культур ели в 47-летнем возрасте, когда культуры по своему развитию вступили в начальную стадию фазы приспевания. Для этой фазы в целях оптимизации роста искусственного насаждения особо важное значение приобретает густота стояния. Начало фазы приспевания совпадает со значением жизненного потенциала по высоте, уменьшившегося до 1,0, а завершение фазы — со значением жизненного потенциала по объему ствола, уменьшившегося до 2,0 [18].

Согласно полученным данным, все экотипы ели отличаются между собой по успешности роста (табл. 1). Наибольшую высоту имеют экотипы из Карелии (Россия), Ивано-Франковской, Волынской, Львовской областей Украины, Брестской,

Минской обл. Белоруссии, Черновицкой обл. Украины, Калининградской и Псковской областей (Россия) (23,1...24,4 м). Худшие показатели у Инзерского экотипа ели из Республики Башкортостан (Россия) — 19,6 м. Похожая тенденция наблюдается при оценке экотипов по диаметру.

По показателю среднего диаметра наилучший результат зафиксирован у ели из Ивано-Франковской обл. Украины, ее средний диаметр равен 25,3 см. Незначительно уступают по результатам роста по диаметру экотипы ели из Волынской и Закарпатской областей Украины (24,2 см и 23,0 см соответственно). Высокое значение среднего диаметра у провениенции из Томской области России (25,6 см), вызванное сильной сбежистостью стволов при низкой сохранности деревьев.

Высоким запасом стволовой древесины характеризуются экотипы из Закарпатской обл. Украины (587 м³/га), Псковской обл. России (577 м³/га), Брестской обл. Белоруссии (553 м³/га), Калининградской обл. России (542 м³/га), Гродненской обл. Белоруссии (530 м³/га), Эстонии (549 м³/га), Латвии (571 м³/га), Литвы, Волынской, Львовской областей Украины и Минской обл. Белоруссии, превышающие по этому показателю процент относительно контрольного значения (Московская обл. (Солнечногорский лесхоз) — 469 м³/га — 100 %) на 100...125 %. Необходимо отметить, что согласно исследованиям, выполненным на объектах географических культур ели в Московской и Ленинградской областях, закарпатский экотип на разных фазах роста лесных культур также показал один из лучших результатов по продуктивности стволовой древесины [4, 6, 7, 9–11, 17, 19, 20].

К числу лучших провениенций как по объему ствола дерева, так и по значениям средних высот и диаметров следует отнести ель из Выгодского лесхоза Ивано-Франковской обл., Владимир-Волынского лесхоза Волынской обл., Сколевского лесхоза Львовской обл. Украины и Карелии (Россия).

Для объективного суждения о сравнительной успешности роста и продуктивности испытываемых провениенций ели по модифицированной методике [14] рассчитывался показатель целесообразности внедрения экотипа — G как среднеарифметическое относительных значений высоты (Q_h), диаметра (Q_d), запаса (Q_m), выраженных в долях стандартного отклонения. За контроль взят климатип из Сенежского лесничества Московской обл. ($G = 0$). Такой подход дает возможность получить информацию о пластичности климатипов, т. е. их способности к адаптации в новых географических пунктах.

В результате по ранговому распределению показателя G экотипы выстроились в большей

Т а б л и ц а 1

**Таксационная характеристика 47-летних экотипов ели
в географических культурах Сенежского лесничества**

Taxation characteristics of 47-year-old spruce ecotypes in the provenance trial plantations of Senezh forestry

Номер экотипа	Географический район происхождения	$H_{ср}$, м	$D_{ср}$, см	Класс бонитета	N , шт./га	M_{47} , м ³ /га	$V_{ств}$, м ³
13	Белоруссия, Брестская обл., Кобринский лесхоз	23,8	19,6	Ia	1463	553	0,38
11	Белоруссия, Витебская обл., Диснянский лесхоз	22,9	19,5	Ia	1082	394	0,36
3	Украина, Волынская обл., Владимир-Волынский лесхоз	24,4	24,2	Ia	838	492	0,59
83	Россия, Московская обл., Солнечногорский лесхоз (контроль)	21,8	20,4	Ia	2149	485	0,23
17	Белоруссия, Гродненская обл., Сморгоньский лесхоз	22,8	19,9	Ia	1427	530	0,37
3	Украина, Закарпатская обл., Буштынский лесхоз	21,5	23,0	Ia	1200	587	0,49
99	Украина, Ивано-Франковская обл., Выгодский лесхоз	24,4	25,3	Ia	586	389	0,66
5	Украина, Львовская обл., Сколевский лесхоз	24,1	22,9	Ia	1010	511	0,50
16	Белоруссия, Минская обл., Логайский лесхоз	23,6	18,9	Ia	1382	491	0,36
101	Украина, Черновицкая обл., Путильский лесхоз	23,2	19,2	Ia	1053	369	0,35
39	Украина, Калининградская обл., Полесский лесхоз	23,3	20,3	Ia	1367	542	0,39
76	Литва, Лудзенский лесхоз	22,9	18,2	Ia	1611	519	0,32
73	Латвия, Тукумский лесхоз	22,6	20,6	Ia	1442	571	0,40
72	Эстония, Котла-Ярвский лесхоз	23,0	19,6	Ia	1120	549	0,49
41	Россия, Псковская обл., Стругаокрасненский лесхоз	23,1	20,0	Ia	1488	577	0,39
40	Россия, Ленинградская обл., Волосовский лесхоз	24,0	18,5	Ia	1280	431	0,34
63	Россия, Владимирская обл., Кольчугинский лесхоз	22,0	18,0	Ia	1222	367	0,30
62–65	Россия, Нижегородская обл., Уренский лесхоз	22,5	21,2	Ia	979	416	0,42
70	Россия, Ивановская обл., Шуйский лесхоз	21,8	19,1	Ia	1290	431	0,44
58	Россия, Республика Марий Эл, Сернурский лесхоз	21,7	22,5	Ia	880	396	0,45
92	Россия, Республика Башкортостан, Инзерский лесхоз	19,6	20,8	I	643	238	0,37
47	Россия, Республика Карелия, Петрозаводский лесхоз	24,4	23,9	Ia	820	481	0,59
18	Россия, Республика Коми, Сыктывкарский лесхоз	21,2	19,4	Ia	900	361	0,40
101	Россия, Мурманская обл., Полярный лесхоз	22,2	20,1	Ia	288	108	0,38
56	Россия, Новосибирская обл., Новосибирский лесхоз	22,9	22,9	Ia	688	340	0,49
55	Россия, Томская обл., Томский лесхоз	22,1	25,6	Ia	342	210	0,61

части по природно-климатическим зонам, т. е. сгруппированы по географическим областям исходного произрастания. Так, значительно хуже контроля растут климатипы ели из Новосибирской, Томской и Мурманской областей, республик Башкортостан и Коми (Россия). Показатель G у них составляет от $-0,230$ до $-2,301$. На уровне с контролем растут экотипы из Уренского лесхоза Нижегородской обл. России и Литвы. Наилучший рост показали провениенции из Ивано-Франковской, Волынской, Львовской, Закарпатской областей Украины и Псковской обл., Республик Карелии и Марий Эл (Россия), из Латвии, превышающие контроль более чем на 20 % ($G = 1,165...2,756$).

Определение показателей механических и физических свойств древесины, характеризующих ее как материал, проводится для конкретных насаждений. Эти испытания позволяют учесть влияние совокупности лесоводственных факторов на показатели физико-механических свойств чистой, т. е. без видимых пороков, древесины. Всего было исследовано семь экотипов ели широкого географического спектра. По каждому из экотипов установлена ударная твердость по радиальной (H_r) и по тангенциальной (H_t) стороне. Установлено, что наибольшей ударной твердостью характеризуются экотипы из Гродненской обл. Белоруссии, Черновицкой обл. Украины и Республики Марий Эл (Россия).

Т а б л и ц а 2

Показатели ударной твердости экотипов ели
Impact hardness indices of spruce ecotypes

Номер экотипа	Географический район происхождения	Твердость				Коэффициент неоднородности ударной твердости образца (β)
		Радиальная H_r		Тангенциальная H_t		
		Дж/см ²	%	Дж/см ²	%	
17	Белоруссия, Гродненская обл., Сморгонский лесхоз	0,82	100	0,75	100	1,14
58	Россия, Республика Марий Эл, Сернурский лесхоз	0,75	91,5	0,72	96,0	1,16
101	Украина, Черновицкая обл., Путильский лесхоз	0,74	90,2	0,72	92,2	1,14
3	Украина, Волынская обл., Владимир-Волынский лесхоз	0,7	85,4	0,69	84,8	1,15
47	Россия, Республика Карелия, Петрозаводский лесхоз	0,68	82,9	0,66	74,6	1,12
63	Россия, Владимирская обл., Кольчугинский лесхоз	0,67	81,7	0,69	68,6	1,13
55	Россия, Томская обл., Томский лесхоз	0,66	80,5	0,69	63,2	1,13
Среднее по экотипам		0,71	87,4	0,7	82,8	1,14

Т а б л и ц а 3

Физико-механические свойства древесины экотипов ели
Physical-mechanical properties of spruce ecotypes wood

Номер экотипа	Географический район происхождения	Плотность ρ , кг/м ³	Содержание поздней древесины в годичном кольце, в 47 лет, %	Сопротивление статическому изгибу σ , МПа	Средняя ударная твердость $H_{cp} \pm m_{H_{cp}}$, Дж/см ² ($N = 510$)	Ударная твердость на поверхности ($N = 510$), Дж/см ²		Коэффициент неоднородности ударной твердости образца $\beta \pm m_\beta$ ($N = 510$)
						Радиальная $H_r \pm m_{H_r}$	Тангенциальная $H_t \pm m_t$	
17	Белоруссия, Гродненская обл., Сморгонский лесхоз	459,9	24,9	81,6	$0,79 \pm 0,03$	$0,82 \pm 0,04$	$0,75 \pm 0,03$	$1,14 \pm 0,02$
58	Россия, Республика Марий Эл, Сернурский лесхоз	415,5	20,3	72,6	$0,74 \pm 0,02$	$0,75 \pm 0,02$	$0,72 \pm 0,02$	$1,16 \pm 0,02$
101	Украина, Черновицкая обл., Путильский лесхоз	451,2	31,9	70,6	$0,74 \pm 0,02$	$0,74 \pm 0,03$	$0,72 \pm 0,02$	$1,14 \pm 0,02$
3	Украина, Волынская обл., Владимир-Волынский лесхоз	452,0	24,5	80,3	$0,70 \pm 0,03$	$0,70 \pm 0,03$	$0,69 \pm 0,03$	$1,15 \pm 0,02$
47	Россия, Республика Карелия, Петрозаводский лесхоз	388,8	21,9	63,4	$0,67 \pm 0,02$	$0,68 \pm 0,03$	$0,66 \pm 0,02$	$1,12 \pm 0,01$
63	Россия, Владимирская обл., Кольчугинский лесхоз	411,6	21,2	67,9	$0,68 \pm 0,02$	$0,67 \pm 0,02$	$0,69 \pm 0,02$	$1,13 \pm 0,01$
55	Россия, Томская обл., Томский лесхоз	378,8	22,4	58,7	$0,68 \pm 0,04$	$0,66 \pm 0,05$	$0,69 \pm 0,03$	$1,13 \pm 0,03$

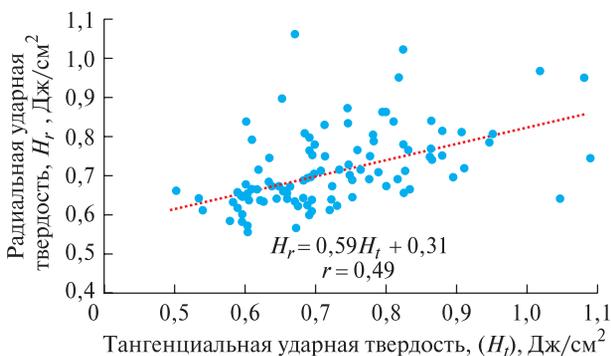


Рис. 1. Зависимость ударной твердости радиальной поверхности древесины от ударной твердости тангенциальной поверхности

Fig. 1. The dependence of the wood radial surface hardness impact from tangential surface hardness impact

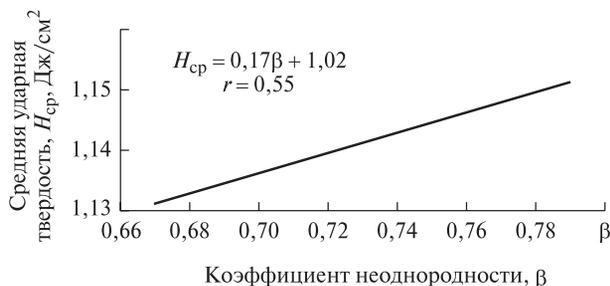


Рис. 2. Зависимость средней ударной твердости древесины от коэффициента неоднородности

Fig. 2. The dependence of the average impact hardness of wood from the coefficient of heterogeneity

Установлено, что в большинстве результатов проведенных измерений, повышение радиальной ударной твердости приводит к увеличению тангенциальной твердости.

Кроме этого, было установлено процентное варьирование радиальной и тангенциальной твердости (табл. 2). Эти показатели важны, к примеру, для мебельной промышленности.

Также была рассчитана зависимость радиальной ударной твердости от тангенциальной (рис. 1).

Из рис. 1 видно, что связь между радиальной и тангенциальной твердостью есть ($r = 0,49$), но она слабо выражена ввиду сильной внутренней изменчивости древесины.

Кроме того, был рассчитан квадрат отношения диаметров отпечатков шарика, дающий дополнительную характеристику свойств древесины — коэффициент неоднородности ударной твердости β . Он определяется отклонением от круглой формы и объясняется тем обстоятельством, что по длине ствола волокна связаны между собой чрезвычайно прочно, и поэтому при ударе они изгибаются и шарик соприкасается с ними по длине несколько меньшей, чем поперек волокон, где связь с волокнами значительно слабее. Таким образом, при ударе большее их количество,

так сказать, вовлекается в работу. Следовательно коэффициент β характеризует разницу сил связи древесины вдоль и поперек волокон.

В табл. 3 приведены основные физико-механические показатели экотипов ели: плотность, процент поздней древесины в годичном кольце и сопротивление статическому изгибу, взятые из ранее полученных данных [17]. Рассчитана стандартная ошибка средней, радиальной и тангенциальной ударной твердости, а также коэффициента неоднородности ударной твердости.

Различия по твердости согласовываются с различиями по проценту поздней древесины и плотности. Четко видна следующая тенденция: при увеличении процента поздней древесины увеличивается и плотность, одновременно возрастает показатель ударной твердости как в радиальном, так и в тангенциальном направлении.

Таким образом, наилучшими физико-механическими свойствами обладают экотипы из Гродненской обл. Белоруссии, Черновицкой, Вольнской областей Украины и Республики Марий Эл (Россия), что делает их перспективными для выращивания на плантациях в целях получения древесины повышенной прочности, которую в дальнейшем можно будет использовать в мебельной промышленности или в производстве пиломатериалов. Древесину экотипов ели из Томской и Владимирской областей России, а также Карелии (Россия) можно применять в целлюлозно-бумажной промышленности ввиду того, что все ее свойства хуже, чем у вышеперечисленных экотипов.

Большинство анализируемых признаков взаимосвязаны один с другим. При возрастании плотности древесины степень сцепления между ее структурными элементами поперек волокон возрастает, что отражает коэффициент корреляции между плотностью ρ и коэффициентом неоднородности ударной твердости β . График зависимости средней ударной твердости от коэффициента неоднородности ударной твердости (рис. 2) показывает наличие связи между этими признаками.

Коэффициент неоднородности ударной твердости β характеризует связь структурных элементов поперек волокон, а также и сопротивляемость древесины к расслоению при ударных нагрузках. Чем ближе этот коэффициент к единице, тем больше сопротивляемость расслоению и, как следствие, тем больше сопротивление расколу вдоль волокон (например, при рубке дров).

Построенные графики зависимости показателей ударной твердости от плотности древесины показывают, что все параметры аппроксимируются линейной функцией, связь при этом — положительная. Большая положительная тенденция

наблюдается в порядке увеличения степени связи H_{cp} , H_r и H_t с плотностью (рис. 3). Связи с плотностью достаточно высокие, коэффициент корреляции Пирсона r в среднем составляет около 0,7. Коэффициент неоднородности ударной твердости имеет средние показатели связи с плотностью древесины (рис. 4) и со средней ударной твердостью (0,53 и 0,55 соответственно). Получены линейные уравнения, которыми можно воспользоваться для расчета показателей твердости при известных значениях плотности, и наоборот.

Поскольку ударная твердость и коэффициент β очень хорошо связаны с плотностью, то по ним можно проводить оценку качества древесины, например, в деревообрабатывающей промышленности. Следовательно, эти показатели применимы для текущего контроля качества древесины на складах.

При определении лидирующих экотипов по качеству формирования ствола предпочтение отдавалось прямоствольным насаждениям с наименьшей долей кривоствольных деревьев. Лучшим качеством ствола обладают экотипы из Ивано-Франковской, Закарпатской областей Украины, Ивановской обл. России, Львовской, Черновицкой областей Украины, Витебской, Минской, Гродненской областей Белоруссии, Владимирской, Калининградской областей России, Республика Башкортостан и Коми (Россия) — от 97,6 % прямых одноствольных деревьев до 90,7 %. Близи к лидирующим экотипы из Волынской обл. Украины, Брестской обл. Белоруссии и Псковской обл. России — более 89 % прямых одноствольных деревьев. Отстающими по показателю качества ствола оказались экотипы из Эстонии, Томской и Мурманской областей России, в которых доля одноствольных прямых деревьев составляет от 68,8 до 71,4 %.

Выводы

1. В целях повышения продуктивности и ускоренного выращивания лесов в Центральном лесосеменном районе Московском подрайоне необходимо ввести поправку в Лесосеменное районирование по использованию семян из Белоруссии (Брестской, Гродненской, Минской и Витебской областей) и Украины (Волынской, Ивано-Франковской, Закарпатской, Львовской и Черновицкой областей).

2. Анализ корреляции ударной твердости, коэффициента неоднородности ударной твердости и плотности древесины показал наличие связей между этими признаками; наиболее сильная связь между ударной твердостью и плотностью.

3. По качеству ствола лучшими являются экотипы из Ивано-Франковской, Закарпатской областей Украины, Ивановской обл. России, Львов-

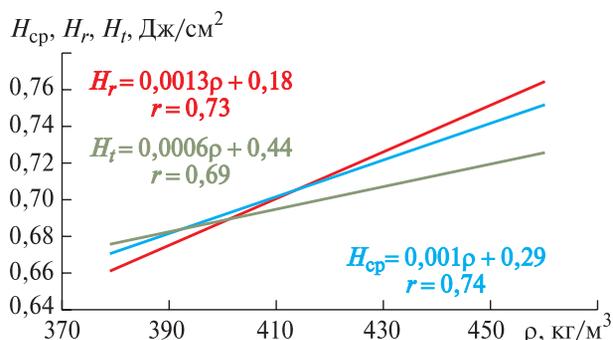


Рис. 3. Зависимость показателей ударной твердости от плотности древесины

Fig. 3. The dependence of hardness on the density of wood

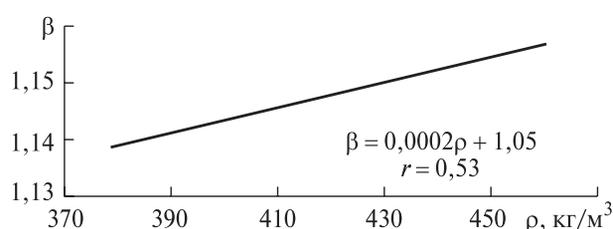


Рис. 4. Зависимость коэффициента неоднородности ударной твердости от плотности древесины

Fig. 4. The dependence of heterogeneity coefficient of impact hardness on the density of wood

ской, Черновицкой областей Украины, Витебской, Минской, Гродненской областей Белоруссии, Владимирской, Калининградской областей России, Республика Башкортостан и Коми (Россия).

Список литературы

- [1] Тимофеев В.П. Лесные культуры лиственницы. М.: Лесная пром-сть, 1977. 216 с.
- [2] Мелехов И.С. Лесоведение. М.: Лесная пром-сть, 1980. 408 с.
- [3] Полубояринов О.И. Лесохозяйственное значение плотности выращиваемой древесины // Лесное хозяйство, 1980. № 12. С. 20–22.
- [4] Пальцев А.М. Влияние географического происхождения семян ели на ее рост: дис. ... канд. с.-х. наук. М.: МЛТИ, 1984. 185 с.
- [5] Мелехов В.И., Бабич Н.А., Корчагов С.А. Качество древесины сосны в культурах. Архангельск: Архангельский ГТУ, 2003. 110 с.
- [6] Пальцев А.М., Мерзленко М.Д., Мельник П.Г. Опыт географических культур ели в зоне смешанных лесов. Обзорная информация. М.: ВНИИЦлесресурс, 1995. 35 с.
- [7] Мельник П.Г. Выявление быстрорастущих экотипов ели для целевого лесовосстановления на территории Смоленско-Московской возвышенности: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М.: МГУЛ, 1996. 18 с.
- [8] Мельник П.Г., Степанова О.В. Продуктивность и физико-механические свойства древесины ели в географических культурах // Лесохозяйственная информация, 2008. № 3–4. С. 45.
- [9] Пальцев А.М. Сезонный рост географических культур ели обыкновенной в Московской области // Лесоведение, 1980. № 6. С. 11–18.
- [10] Пальцев А.М., Мерзленко М.Д. Роль географических культур в лесокультурном деле. М.: МЛТИ, 1990. 54 с.

- [11] Мерзленко М.Д., Мельник П.Г. Лесоводственная экскурсия в леса Клинско-Дмитровской гряды. М.: МГУЛ, 2002. 93 с.
- [12] ОСТ 56-69–83. Пробные площади лесостроительные. Методы закладки. М.: Изд-во стандартов, 1983. 59 с.
- [13] Чернов Н.Н., Соловьев В.М., Нагимов З.Я. Методические основы лесокультурных исследований. Екатеринбург: УГЛТУ, 2012. 423 с.
- [14] Мерзленко М.Д., Мельник П.Г. Итог тридцати вегетаций в географических культурах ели Сергиево-Посадского опытного лесхоза // Науч. тр. МГУЛ. Вып. 274. М.: МГУЛ, 1995. С. 64–77.
- [15] ГОСТ 16483.16–81 Древесина. Метод определения ударной твердости. М.: Изд-во стандартов, 1981. 7 с.
- [16] Тарханов С.Н. Изменчивость ели в географических культурах Республики Коми. Екатеринбург: УрО РАН, 1998. 196 с.
- [17] Мерзленко М.Д., Коженкова А.А., Мельник П.Г. Рост хвойных интродуцентов в западном Подмоскowie // Вестник Алтайского государственного аграрного университета, 2017. № 5 (151). С. 86–90.
- [18] Мерзленко М.Д. Лесокультурное дело. М.: МГУЛ, 2009. 124 с.
- [19] Мельник П.Г., Смекалина Т.Ф., Горшенина Ю.В., Степанова О.В., Лещева Е.А. Результаты испытания 35-летних географических культур ели в Солнечногорском опытном лесхозе // Леса Евразии в XXI веке: Восток — Запад: материалы II Междунар. конф. молодых ученых, посвященной И.К. Пачоскому, Москва, 01–05 октября 2002 г. М.: МГУЛ, 2002. С. 115–117.
- [20] Николаева М.А., Жигунов А.В. Фенологические и репродуктивные особенности ели в географических культурах Ленинградской области // Лесоведение, 2012. № 2. С. 35–46.

Сведения об авторах

Мельник Петр Григорьевич — канд. с.-х. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), ст. науч. сотр. ФГБУН Институт лесоведения РАН, melnik_petr@bk.ru

Тишков Артем Сергеевич — аспирант, мл. науч. сотр. ФГБУН Институт лесоведения РАН, artemtishkov@mail.ru

Аксенов Петр Андреевич — канд. с.-х. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), axenov.pa@mail.ru

Поступила в редакцию 10.10.2019.

Принята к публикации 15.03.2020.

CLIMATIC TYPE SPRUCE PRODUCTIVITY AND WOOD QUALITY IN MOSCOW REGION

P.G. Melnik^{1,2}, A.S. Tishkov², P.A. Aksenov¹

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

²Institute of Forest Science RAS, 21, Sovetskaya st., village Uspenskoe, Odintsovo district, 143030, Moscow reg., Russia

melnik_petr@bk.ru

The research was carried out in the 47 year-old geographical plantations of spruce in Senezhskoye Forest District in the north-west part of the Moscow region. The range of the provenances is rather wide and covers the *Picea* species areal from Subcarpathia (Central Europe) to Novosibirsk region. The ecotype from Karelia, Ivano-Frankivsk, Volhynia, Lviv, Brest, Minsk, Chernivtsi, Kaliningrad and Pskov region show the best results in terms of height (23,1...24,4 m). Spruce with its origin from Ivano-Frankivsk region has the biggest average diameter of 25,3 cm. The ecotypes from Volhynia and Subcarpathia have a slightly smaller average diameter of 24,2 and 23,0 cm respectively. The highest average diameter of the provenances from Tomsk region is explained by tapering under the conditions of low vitality. The ecotypes from Subcarpathia (587 m³/ha), Pskov (577 m³/ha), Brest (553 m³/ha), Kaliningrad (542 m³/ha) and Grodno (530 m³/ha) as well as from Estonia (549 m³/ha), Latvia (571 m³/ha), Lithuania, Volhynia, Lviv and Minsk are characterized by high standing volume. These ecotypes outperform the control percentage of those provenances from Moscow region (469 m³/ha — 100 %) by 100...125 %. The ecotypes from Grodno, Chernivtsi, Volhynia regions as well as those from Mari El Republic have the best physical and mechanical characteristics. This makes them the most promising ecotypes for the plantation of high durability timber for furniture and lumber production. The wood originating from Karelia or Tomsk and Vladimir regions can be used in pulp and paper production.

Keywords: spruce, *Picea*, geographical forest plantations, provenances, ecotype, wood quality

Suggested citation: Melnik P.G., Tishkov A.S., Aksenov P.A. *Produktivnost' i kachestvo drevesiny klimatipov eli v usloviyakh Podmoskov'ya* [Climatic type spruce productivity and wood quality in Moscow region]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 3, pp. 66–73. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-3-66-73

References

- [1] Timofeev V.P. *Lesnye kul'tury listvennitsy* [Larch forest plantation]. – Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forest industry], 1977, 216 p.
- [2] Melekhov I.S. *Lesovedenie* [Forestry]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forest industry], 1980, 408 p.

- [3] Poluboyarinov O.I. *Lesokhozyaystvennoe znachenie plotnosti vyrashchivaemoy drevesiny* [Forestry value of the grown wood]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forest industry], 1980, no. 12, pp. 20–22.
- [4] Pal'tsev A.M. *Vliyaniye geograficheskogo proiskhozhdeniya semyan eli na ee rost* [The influence of the geographical origin of spruce seeds on its growth]: Dis. ... Cand. Sci. (Agric.). Moscow: MLTI, 1984, 185 p.
- [5] Melehev V.I., Babich N.A., Korzhagov S.A. *Kachestvo drevesiny sosny v kul'turakh* [Quality pine cultures]. Arhangel'sk: AGTU, 2003, 110 p.
- [6] Pal'tsev A.M., Merzlenko M.D., Mel'nik P.G. *Opyt geograficheskikh kul'tur eli v zone smeshannykh lesov* [The experience of geographical cultures of spruce in the zone of mixed forests]. Moscow: VNIITslesresurs, 1995, 35 p.
- [7] Mel'nik P.G. *Vyyavlenie bystrorastushchikh ekotipov eli dlya tselevogo lesovosstanovleniya na territorii Smolensko-Moskovskoy vozvyshehnosti* [Identification of fast-growing ecotypes of spruce for targeted reforestation in the Smolensk-Moscow Upland]. Dis. ... Cand. Sci. (Agric.). Moscow, 1996, 18 p.
- [8] Mel'nik P.G., Stepanova O.V. *Produktivnost' i fiziko-mekhanicheskie svoystva drevesiny eli v geograficheskikh kul'turakh* [Productivity and physico-mechanical properties of spruce wood in geographical cultures]. *Lesokhozyaystvennaya informatiya* [Forestry Information], 2008, no. 3–4, pp. 45.
- [9] Pal'tsev A.M. *Sezonnyy rost geograficheskikh kul'tur eli obyknovennoy v Moskovskoy oblasti* [Seasonal Growth of Spruce Provenance Trial Plantations in the Moscow Region]. *Lesovedenie* [Forestry], 1980, no. 6, pp. 11–18.
- [10] Pal'tsev A.M., Merzlenko M.D. *Rol' geograficheskikh kul'tur v lesokul'turnom dele* [The role of provenances in forest breeding practice]. Moscow: MLTI, 1990, 54 p.
- [11] Merzlenko M.D., Mel'nik P.G. *Lesovodstvennaya ekskursiya v lesa Klinsko-dmitrovskoy gryady* [A forest excursion to the forests of the Klin-Dmitrov ridge]. Moscow: MSFU, 2002, 93 p.
- [12] OST 56-69-83 *Probynye ploshchadi lesoustroitel'nye. Metody zakladki* [Industrial Standard 56-69-83. Sampling Areas of Forest Inventory. The Plantation Establishment Principles]. Moscow: Izd-vo standartov [Standards Publishing], 1983, 59 p.
- [13] Chernov N.N., Solov'ev V.M., Nagimov Z.Ya. *Metodicheskie osnovy lesokul'turnykh issledovaniy* [Methodological foundations of forest culture research]. Ekaterinburg: UGLTU, 2012, 423 p.
- [14] Merzlenko M.D., Mel'nik P.G. *Itog tridtsati vegetatsiy v geograficheskikh kul'turakh eli Sergievo-Posadskogo opytnogo leskhoza* [The result of thirty vegetations in geographical cultures of the spruce of the Sergiev Posad experimental forestry]. *Nauchnye trudy Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa* [Scientific works of Moscow State Forestry University], v. 274. Moscow: MGUL, 1995, pp. 64–77.
- [15] GOST 16483.16-81 *Drevesina. Metod opredeleniya udarnoy tverdosti* [Industrial Standard 16483.16-81. Wood. Impact Hardness Test Method]. Moscow: Gosstandart Rossii: Izd-vo standartov [Standards Publishing], 1981, 7 p.
- [16] Tarkhanov S.N. *Izmenchivost' eli v geograficheskikh kul'turakh Respubliki Komi* [Variability of Spruce in the Provenance Trial Plantations of the Republic of Komi]. Yekaterinburg: Ural Branch RAS, 1998, 196 p.
- [17] Merzlenko M.D., Kozhenkova A.A., Mel'nik P.G. *Rost khvoynykh introdutsentov v zapadnom Podmoskov'e* [The growth of coniferous introducers in the western suburbs]. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Altai State Agrarian University], 2017, no. 5 (151), pp. 86–90.
- [18] Merzlenko M.D. *Lesokul'turnoe delo* [Silvicultural Business]. Moscow: MSFU, 2009, 124 p.
- [19] Mel'nik P.G., Smekalina T.F., Gorshenina Yu.V., Stepanova O.V., Leshcheva E.A. *Rezultaty ispytaniya 35-letnikh geograficheskikh kul'tur eli v Solnechnogorskoy opytnoy leskhoze* [Test results of 35-year-old geographical cultures of spruce in the Solnechnogorsk experimental leshoz]. *Les Evrazii v XXI veke: Vostok — Zapad: materialy II Mezhdunarod. konf. molodykh uchenykh, posvyashchennoy I.K. Pachoskomu* [The forests of Eurasia in the XXI century: East–West: materials of the II International. conf. young scientists dedicated to I.K. Pachosky.] Moscow, October 01–05, 2002. Moscow: MGUL, 2002. pp. 115–117.
- [20] Nikolaeva M.A., Zhigunov A.V. *Fenologicheskie i reproduktivnye osobennosti eli v geograficheskikh kul'turakh Leningradskoy oblasti* [Phenological and Reproductive Features of Spruce in Provenances of Leningrad Region]. *Lesovedenie* [Forestry], 2012, no. 2, pp. 35–46.

Authors' information

Mel'nik Petr Grigoryevich — Cand. Sci. (Agricultural), Associate Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), Senior Staff Scientist of the Institute of Forest Science Russian Academy of Sciences, melnik_petr@bk.ru

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

Aksenov Petr Andreevich — Cand. Sci. (Agricultural), Associate Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), axenov.pa@mail.ru

Received 10.10.2019.

Accepted for publication 15.03.2020.

УДК 630*165.43:581.471

DOI: 10.18698/2542-1468-2020-3-74-80

ПРИЧИНЫ НИЗКОГО КАЧЕСТВА СЕМЯН У МУТАЦИОННЫХ «ВЕДЬМИНЫХ МЕТЕЛ» КЕДРА СИБИРСКОГО

О.И. Полякова, Е.А. Жук, С.Н. Горошкевич

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, 634055, г. Томск, пр. Академический, д. 10/3

polyakova_olga93@mail.ru

Рассмотрены мутационные «ведьмины метлы» — фрагменты кроны дерева с замедленным ростом, обильным ветвлением, сниженным апикальным доминированием и часто с обильным плодоношением. Мутация в целом негативно влияет на качество шишек и семян. На примере клонов из мутантной и нормальной частей кроны одних и тех же материнских деревьев показано, на каких стадиях развития семян повышаются потери у мутантов, а также сделаны заключения относительно их причин. Показано, что число семяпочек в шишках мутантных клонов в среднем в 1,4 раза меньше, чем у нормальных, семена у клонов «ведьминых метел» мельче, а их качество в целом хуже, чем у клонов из нормальной части кроны тех же деревьев. Установлены сниженное качество семян и низкая семенная продуктивность по сравнению с нормальными клонами у двух третьих частей мутантов, хотя отдельные клоны «ведьминых метел» были почти равны нормальным клонам по семенной продуктивности. Определено, что потери семян происходили по разным причинам и на разных стадиях развития, но у мутантов было значительно больше потерь до опыления и при развитии зародыша, поскольку у них наблюдалась аномальная густота кроны, создающая помехи для опыления, а также нестандартный размер шишек и семян, негативно влияющий на развитие зародыша.

Ключевые слова: «ведьмина метла», соматическая мутация, *Pinus sibirica* Du Tour, развитие семян, семенная продуктивность

Ссылка для цитирования: Полякова О.И., Жук Е.А., Горошкевич С.Н. Причины низкого качества семян у мутационных «ведьминых метел» кедр сибирского // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 3. С. 74–80. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-3-74-80

Фрагмент кроны дерева с аномальным морфогенезом — «ведьмина метла» (ВМ) — включает в себя замедленный рост, обильное ветвление и сниженное апикальное доминирование. Наряду с патологическими ВМ, причиной которых является заражение различными видами микроорганизмов [1–4], в природе встречаются ВМ мутационной природы, имеющие нормальную жизнеспособность и не имеющие признаков поражения патогенами [5, 6]. В отличие от патологических ВМ репродуктивная функция у мутационных ВМ не угнетена, шишки и семена могут быть меньше по размеру, чем у нормальной части кроны (НК) [7–9], но иногда они не отличаются от нормальных [10], при этом семена в любом случае имеют неплохую жизнеспособность [11, 12].

Кедр сибирский (*Pinus sibirica* Du Tour) также способен к образованию мутационных ВМ. У него, как и у иных хвойных, встречаются ВМ с разным сочетанием признаков [13–15]: шишки по длине меньше нормальных шишек вида (приблизительно 3–4 см), качество семян в целом довольно низкое [16]. Известно, что доля полных семян у ВМ обычно снижена по сравнению с нормой [7, 12], однако динамика репродуктивных потерь в ходе развития шишек ВМ исследована недостаточно.

Цель работы

Цель работы — исследование качества семян у клонов ВМ и НК от одних и тех же деревьев

кедра сибирского, определение критических стадий развития семян, во время которых происходят повышенные потери у клонов ВМ по сравнению с НК, и выявление причин низкого качества семян у клонов ВМ.

Материалы и методы

Исследование проведено на клонах ВМ и НК кедр сибирского на стационаре «Кедр» Института мониторинга климатических и экологических систем СО РАН. Стационар расположен в 30 км к юго-востоку от Томска (56°13' с. ш., 84°51' в. д., 78 м над у. м., юго-восток Западно-Сибирской равнины, южная тайга).

Источниками материала для прививок были шесть деревьев с мутационными ВМ (табл. 1), имевшими разные плотность кроны и семеношение, которые оценивались визуально [14]. Плотность ВМ считалась низкой, если она превышала плотность НК менее чем в 2 раза, средней — в 2–3 раза, высокой — более чем в 3 раза. Семеношение ВМ считалось слабым, если на 100 см² поверхности ВМ приходилось меньше одной шишки, средним — 1–2 шишки, обильным — 2 шишки и более.

В 2007 и 2008 гг. черенки от каждой ВМ и НК были привиты на местный пятилетний подвой кедр сибирского. Привитые растения выращивали с шагом 1×0,5 м в рядах, каждый клон был представлен 10...20 раметами.

Т а б л и ц а 1

**Происхождение и характеристика материнских деревьев с «ведьмиными метлами»,
давших начало исследованным клонам**

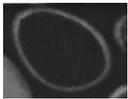
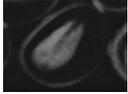
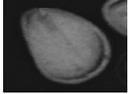
Origins and characteristics of maternal trees with witches' broom from which the clones originated

Характеристики	Клоны (ВМ/НК)					
	03/04	08/09	010/011	032/033	038/039	040/041
Широта района, с. ш.	56°10'	56°10'	56°10'	58°13'	52°00'	52°00'
Долгота района, в. д.	84°00'	84°00'	84°00'	84°32'	90°20'	90°20'
Возраст дерева, лет	170	170	180	350	200	190
Возраст ВМ, лет	110	80	20	75	60	60
Плодоношение ВМ	Обильное	Обильное	Нет	Среднее	Слабое	Среднее
Плотность ВМ	Средняя	Высокая	Средняя	Средняя	Низкая	Низкая

Т а б л и ц а 2

Типы семян и интерпретация потерь семян, по Оуэнсу [17]

Categories of seeds and seed losses interpretation according to Owens [17]

Признак	Описание	Фото семяпочек и семян
Число семяпочек	Удвоенное число чешуй в медиальной фертильной зоне шишки	—
Неопыленные семяпочки (потери до опыления)	Плоская семяпочка, которая погибла не будучи опыленной и которая не содержит мегагаметофит. Возможно, эти семяпочки недостаточно развиваются для опыления к концу срока пыления	
Недоразвитые семена (потери до оплодотворения)	Маленькие округлые семяпочки, которые погибли вскоре после опыления	
Развитые семена	Семена нормального размера	
Пустые семена (потери при оплодотворении)	Семена, у которых мегагаметофит и зародыш были абортированы и засохли приблизительно во время оплодотворения	
Семена с недоразвитым мегагаметофитом (потери при развитии зародыша)	Семена, содержащие частично разрушенный мегагаметофит и погибший зародыш. Гибель зародыша произошла в начале или в середине его развития	
Полные семена	Семена с нормально развитым мегагаметофитом, который заполнял семя и содержал развитый зародыш	

В августе 2016 г. были собраны шишки со всех плодоносящих рамет каждого клона. Плодоношение у клонов ВМ было обильным, поэтому для анализа из общего урожая было случайным образом выбрано по 8...15 шишек. Из этих шишек были собраны семена и проведен их количественный и качественный анализ.

У всех шишек подсчитывали следующие признаки: число семяпочек в медиальной фертильной зоне шишки, число недоразвитых семян, число развитых семян и семенную продуктивность. С помощью рентгенографии среди развитых семян определяли число пустых и полных семян, а также число семян с недоразвитым мегагаметофи-

том. После этого измеряли длину полных семян. Стадии потерь семяпочек и семян были определены согласно Owens [17] (табл. 2). Из общего числа семяпочек определили долю неопыленных семяпочек, т. е. потери до опыления, из общего числа семян — долю недоразвитых семян, т. е. потерь семян после опыления, но до оплодотворения, из числа развитых семян — долю пустых семян, т. е. потерь семян при оплодотворении, из числа семян с мегагаметофитом — долю семян с недоразвитым мегагаметофитом, т. е. потерь семян при развитии зародыша. Число полных семян использовали для расчета семенной продуктивности как доли полных семян от общего числа семяпочек.

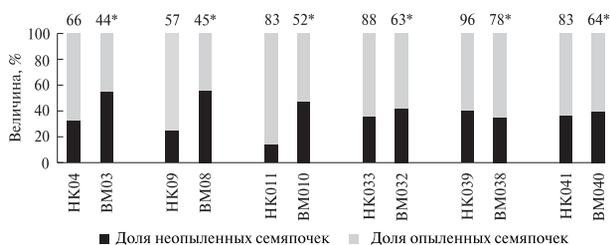


Рис. 1. Доля неопыленных и опыленных семяпочек от общего числа семяпочек в шишках у клонов «ведьминой метлы» и нормальной части кроны от одних и тех же материнских деревьев (числа над столбцами показывают общее количество семяпочек в медиальной фертильной зоне шишки; звездочками отмечены значимые различия между клонами ВМ и НК при $p < 0,05$)

Fig. 1. Proportions of unpollinated and pollinated ovules in total number of ovules in cones of WB and NC clones from the same maternal trees (the numbers above the columns indicate the total numbers of ovules in medial fertile zone of cones; asterisks indicate significant differences between WB and NC clones, $p \leq 0,05$)

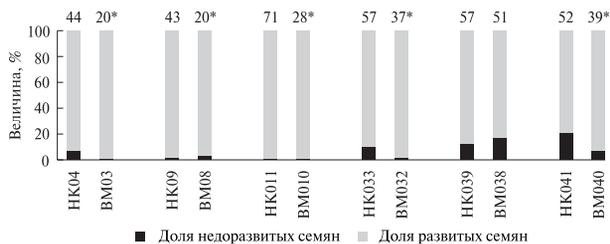


Рис. 2. Доля развитых и недоразвитых семян от общего числа семян в шишках у клонов «ведьминой метлы» и нормальной части кроны от одних и тех же материнских деревьев (числа над столбцами показывают общее число семян в шишке)

Fig. 2. Proportions of full-grown and rudimentary seeds in total number of seeds in cones of WB and NC clones from the same maternal trees (the numbers above the columns indicate the total numbers of seeds in cones)

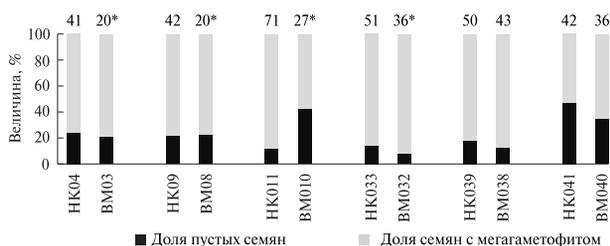


Рис. 3. Доля пустых семян и семян с мегагаметофитом от числа развитых семян в шишках у клонов «ведьминой метлы» и нормальной части кроны от одних и тех же материнских деревьев (числа над столбцами показывают число развитых семян в шишке)

Fig. 3. Proportions of empty seeds and seeds with megagametophyte in total number of full-grown seeds in cones of WB and NC clones from the same maternal trees (the numbers above the columns indicate the total numbers of full-grown seeds in cones)

Признаки сравнивали попарно между клонами ВМ и НК от одного дерева. Нормальность распределения признаков проверяли с помощью

теста Колмогорова — Смирнова. Поскольку распределение всех признаков было нормальным, попарные сравнения ВМ и НК от одного дерева выполнили с помощью t -теста. Семенную продуктивность и потери семян на разных стадиях сравнивали с помощью критерия χ^2 .

Результаты и обсуждение

Потеря семян происходила по различным причинам и на разных стадиях развития. Число семяпочек у шишек ВМ в среднем в 1,4 раза меньше, чем у НК, различия были значимыми во всех парах клонов (рис. 1). Наблюдалась определенная связь размера числа семяпочек с густотой кроны материнской ВМ, хотя подтвердить ее достоверность не удалось по причине малой выборки. У двух клонов наименее плотных ВМ было в 1,6 раз больше семяпочек в шишке, чем у клона самой плотной ВМ, и в 1,3 раз больше, чем у клонов ВМ средней плотности. По всем показателям качества семян клоны этих двух ВМ также превосходили остальные. Потери семяпочек до опыления, представленные в виде неопыленных семяпочек, в первых трех парах клонов были в 2–3 раза выше у клонов ВМ по сравнению с НК, в остальных парах почти не различались.

Общее число семян у шишек ВМ в среднем в 1,4–2,6 раза меньше, чем у НК, различия были значимыми во всех парах клонов, кроме одной (рис. 2). Потери семян после опыления и до оплодотворения, представленные в виде недоразвитых семян, невысокие у шишек в обеих группах. Только у одного клона ВМ041 наблюдалась повышенная по сравнению с другими доля недоразвитых семян.

Количество развитых семян у шишек ВМ в среднем в 1,4–2,6 раза меньше, чем у НК, различия были значимыми во всех парах клонов, кроме одной (рис. 3). Потери семян при оплодотворении, представленные в виде пустых семян, в среднем составляли 23 % у шишек в обеих группах. Клоны только из одной пары 010/011 имели значимые различия, так как у клона ВМ010 наблюдалась повышенная доля пустых семян почти половину от числа развитых семян.

Число семян с мегагаметофитом у шишек ВМ в среднем в 1,3–4 раза меньше, чем у НК, различия были значимыми в четырех парах клонов из шести (рис. 4). Потери семян при развитии зародыша, представленные в виде семян с недоразвитым мегагаметофитом, у ВМ из этих пар многократно (до 40 раз) выше по сравнению с НК. Только на этой стадии развития потери ВМ драматически превышают потери НК.

Семенная продуктивность всех НК была довольно низкой для вида — от 24 до 49 %, только у клона НК011 семенная продуктивность была

нормальной и составляла 72 %. Две третьих части ВМ имели очень низкую семенную продуктивность по сравнению с НК — от 10 до 26 %, а одна третья часть не отличалась по семенной продуктивности от клонов НК. При этом длина семян у всех ВМ была меньше, чем у НК, во всех парах наблюдались значимые различия между клонами ВМ и НК (рис. 5).

Таким образом, клоны ВМ и НК больше всего различались по потерям семяпочек и семян на двух стадиях их развития. У клонов ВМ было больше потерь до опыления и при развитии зародыша. Большие потери до опыления, скорее всего, были связаны с тем, что на шишки ВМ попадает меньше пыльцы и существенная часть семяпочек остается неопыленной. Строение шишки и конфигурация всей ее внешней формы приспособлены под аэродинамические свойства пыльцы данного вида [18]. Размер готовой к опылению шишки, в том числе размер чешуй, имеет огромное значение для опыления. Размер шишек в период опыления у ВМ, учитывая небольшое по сравнению с нормой количество чешуй в шишке [19], был существенно меньше, чем у НК. Возможно, в аномально мелкую шишку пыльца проникает хуже. Форма ветви и положение шишки на ней тоже могут влиять на это. Крона клонов ВМ обладает аномальной густотой [14], поэтому шишки на ее ветвях менее доступны для опыления, чем в нормальной кроне.

Высокие потери при развитии зародыша могут быть связаны с нестандартным размером репродуктивных структур ВМ. Аномально маленький размер шишек имеет значение не только для опыления, но и для последующего развития шишек, так как лишь более или менее стандартные по размеру репродуктивные структуры способны к нормальному развитию [20]. Шишки и семяпочки плотных ВМ находятся за пределами этого видового стандарта [16]. Возможно, резкое повышение доли аномалий в их половой репродукции вызвано их морфофизиологическими и эмбриологическими диспропорциями. У не очень плотных ВМ с умеренно пониженной скоростью роста этих проблем нет, по-видимому, ввиду близости их репродуктивных структур к видовой норме по размеру и другим свойствам.

Как следствие, семенная продуктивность ВМ обычно значительно ниже, чем у НК. Так, у *P. sylvestris* L семенная продуктивность ВМ всегда уступала НК в 1,2–4 раза [7, 10], а у разных ВМ *P. banksiana* Lamb. доля полных семян составляла от 5 до 82 % [12]. Семенная продуктивность ВМ кедр сибирского имела большой разброс, в зависимости от клона, хотя в среднем она оказалась в 1,5 раза ниже, чем у НК. Два клона ВМ из шести не уступали НК, а остальные уступали в 2–5 раз.

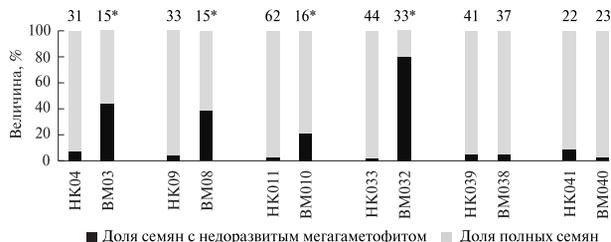


Рис. 4. Доля семян с недоразвитым мегагаметофитом и полных семян от числа семян с мегагаметофитом в шишках у клонов «ведьминой метлы» и нормальной части кроны от одних и тех же материнских деревьев (числа над столбцами показывают количество семян с мегагаметофитом)

Fig. 4. Proportions of seeds with partially collapsed megagametophyte and filled seeds in total number of seeds with megagametophyte in cones of WB and NC clones from the same maternal trees (the numbers above the columns indicate the total numbers of seeds with megagametophyte in cones)

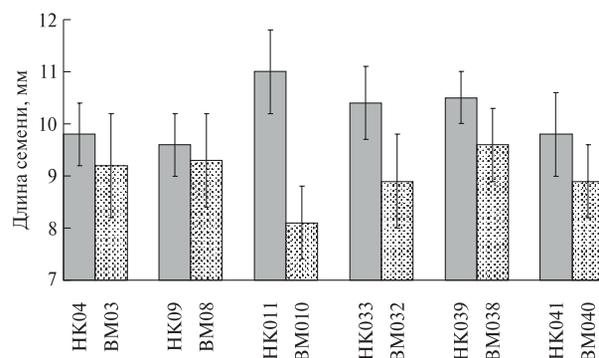


Рис. 5. Длина семян у клонов «ведьминой метлы» и нормальной части кроны от одних и тех же материнских деревьев (столбцы показывают средние значения, отрезки — стандартные отклонения)

Fig. 5. Seed length in WB and NC cones from the same maternal trees (columns are means, whiskers are standard deviation)

Это свидетельствует о том, что отбор клонов для выращивания на семенной плантации должен быть индивидуальным.

У всех до единого клонов ВМ семена мельче по сравнению с семенами НК, хотя в некоторых случаях различия не так уж и велики. Такая же закономерность установлена у взрослых деревьев с ВМ на примере *P. banksiana* [11], *P. halepensis* Mill. [8], и у молодых привоев ВМ и НК на примере *P. sylvestris* [7]. Поэтому, несмотря на то, что маленький размер семян несколько снижает вероятную ценность ВМ в качестве основы для создания плодоносящих сортов, отдельные клоны можно было бы использовать в этом качестве.

Выводы

Семена у клонов ВМ мельче, их качество хуже, чем у клонов НК. У клонов ВМ намного больше потерь семян до опыления и при развитии заро-

дыша, чем у НК. Наиболее вероятными причинами этого является аномальная густота кроны, создающая помехи для опыления, а также нестандартный размер шишек и семян, способствующий преждевременной гибели зародыша.

Клоны ВМ имели преимущественно низкую семенную продуктивность нежели НК, при этом у некоторых клонов ВМ все же наблюдалась нормальная семенная продуктивность. Поскольку некоторые клоны ВМ обладают многократно повышенной способностью к формированию шишек, при нормальной семенной продуктивности продукция семян на единицу объема или площади горизонтальной проекции кроны у них может быть значительно больше, чем у клонов НК. Такие клоны перспективны в качестве плодоносящих культиваров для получения товарного «ореха».

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-16-00058.

Список литературы

- [1] Sugio A., MacLean A.M., Kingdom H.N., Grieve V.M., Manimekalai R., Hogenhout S.A. Diverse targets of phytoplasma effectors: from plant development to defense against insects // Annual Review of Phytopathology, 2011, v. 49, pp. 175–195. DOI:10.1146/annurev-phyto-072910-095323
- [2] Money N.P. Mushrooms: A Natural and Cultural History. London: Reaktion Books, 2017, 224 p.
- [3] Hoshi A., Oshima K., Kakizawa S., Ishii Y., Ozeki J., Hashimoto M., Komatsua K., Kagiwadab S., Yamajia Y., Namba S. A unique virulence factor for proliferation and dwarfism in plants identified from a phytopathogenic bacterium // Proceedings of the National Academy of Sciences, 2009, v. 106, iss. 15, pp. 6416–6421. DOI: 10.1073/pnas.0813038106
- [4] Seo J.K., Kim M.K., Kwak H.R., Kim J.S., Choi H.S. Complete Genome Sequence of Longan Witches' Broom-associated Virus, a Novel Member of the Family Potyviridae // Archives of Virology, 2017, v. 162, iss. 9, pp. 2885–2889. DOI: 10.1007/s00705-017-3405-2
- [5] Buckland D.C., Kuijt J. Unexplained brooming of Douglas-fir and other conifers in British Columbia and Alberta // Forest Science, 1957, v. 3, iss. 3, pp. 236–242.
- [6] Fordham A.J. Dwarf conifers from witches'-brooms // Arnoldia, 1967, v. 24, pp. 29–50.
- [7] Хиров А.А. О ведьминой метле на сосне // Ботанический журнал, 1973. Т. 58. Вып. 3. С. 433–436.
- [8] Vrgoc P. Witches' broom of Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.) and its use for new ornamentals // Acta horticulturae, 2002, v. 29, pp. 199–205. DOI: 10.17660/ActaHortic.2002.572.23
- [9] Ямбуров М.С. «Ведьмины метлы» мутационного типа у некоторых видов семейства Pinaceae: дис. ... канд. биол. наук. Томск, 2010. 133 с.
- [10] Носков В.И., Негруцкий С.Ф. К вопросу о происхождении «ведьминых метел» на сосне // Науч. зап. Воронежского лесотехн. ин-та, 1956. Т. 15. С. 207–210.
- [11] Johnson A.G., Pauley S.S., Cromell W.H. Dwarf seedlings from witches' brooms in jack pine II // Minnesota Forestry Notes, 1965, no. 163, p. 2.
- [12] Rudolph T.D., O'Malley D.M., Reed E.A. Potential for indirect selection of rescued jack pine embryos based upon linkage between seedling dwarfism and megagametophyte allozymes // Conference proceedings: 3rd North Central tree improvement conference, August 17–19, 1983, Wooster, OH, pp.162–174.
- [13] Ямбуров М.С., Горошкевич С.Н. «Ведьмины метлы» кедров сибирского как спонтанные соматические мутации: встречаемость, свойства и возможности использования в селекционных программах // Хвойные бореальной зоны. 2007. Т. XXIV. № 2–3. С. 317–324.
- [14] Zhuk E., Vasilyeva G., Goroshkevich S. Witches' broom and normal crown clones from the same trees of *Pinus sibirica*: a comparative morphological study // Trees, 2015, v. 29, pp. 1079–1090. DOI:10.1007/s00468-015-1187-2
- [15] Vasilyeva G.V., Zhuk E.A. Needle structure of mutational witches' brooms in *Pinus sibirica* // Dendrobiology, 2016, v. 75, pp. 79–85. DOI:10.12657/denbio.075.008
- [16] Polyakova O., Zhuk E., Goroshkevich S. Cone quality and seed efficiency in the clones from mutational witches' brooms of *Pinus sibirica* // BIO Web of Conferences, 2018, v. 11, pp. 144–148.
- [17] Owens J.N., Kittirat T., Mahalovich M.F. Whitebark pine (*Pinus albicaulis* Engelm.) seed production in natural stands // Forest Ecology and Management, 2008, v. 255, iss. 3–4, pp. 803–809. DOI:10.1016/j.foreco.2007.09.067
- [18] Niklas K. The aerodynamics of wind pollination // The Botanical Review, 1985, v. 51, pp. 328–386.
- [19] Polyakova O., Goroshkevich S., Zhuk E. Cone structure and seed development in grafted witches' broom and normal crown clones from the same trees of *Pinus sibirica* // New Forests, 2019, v. 50, iss. 5, pp 805–819. DOI https://doi.org/10.1007/s11056-018-09700-x
- [20] Niklas K. Plant Allometry: The Scaling of Form and Process. Chicago, IL, US: University of Chicago Press, 1994, 412 p.

Сведения об авторах

Полякова Ольга Игоревна — аспирант НИ ТГУ, инженер I кат., ИМКЭС СО РАН, polyakova_olga93@mail.ru

Жук Евгения Анатольевна — канд. биол. наук, науч. сотр. ИМКЭС СО РАН, eazhuk@yandex.ru

Горошкевич Сергей Николаевич — д-р биол. наук, доцент, главный науч. сотр. ИМКЭС СО РАН, gorosh@imces.ru

Поступила в редакцию 27.10.2019.

Принята к публикации 23.12.2019.

CAUSES OF LOW SEED QUALITY IN MUTATIONAL «WITCHES' BROOMS» OF SIBERIAN STONE PINE

O.I. Polyakova, E.A. Zhuk, S.N. Goroshkevich

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

polyakova_olga93@mail.ru

Mutational «witches' brooms» are fragments of a tree crown with slow growth, abundant branching, reduced apical dominance, and often with intensified reproduction. In generally, mutation negatively affects the quality of cones and seeds. Using clones from the mutant and normal crown parts of the same maternal trees, stages of increased seed losses during the seed development in the mutants were shown, and conclusions are made regarding their causes. It was shown, that the number of ovules in the cones of the mutant clones was on average 1,4 times less than in normal ones. The seeds of the witches' broom clones were smaller, and their quality in generally was inferior to the clones from the normal part of the crown of the same trees. Two-thirds of the mutants had low seed quality and low seed efficiency compared to normal clones, although the individual «witches' broom» clones were almost equal to normal clones in seed productivity. Seed losses occurred for various reasons and at different stages of their development, but mutants had significantly more losses before pollination and during embryo development. The most probable reasons for this are the abnormal density of the crown, which interferes with pollination, as well as the non-standard size of cones and seeds, which negatively affects the development of the embryo.

Keywords: witches' broom, somatic mutation, *Pinus sibirica*, seed development, seed efficiency

Suggested citation: Polyakova O.I., Zhuk E.A., Goroshkevich S.N. *Prichiny nizkogo kachestva semyan u mutatsionnykh «ved'minykh metel» kedra sibirskogo* [Causes of low seed quality in mutational «witches' brooms» of Siberian stone pine]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 3, pp. 74–80.
DOI: 10.18698/2542-1468-2020-3-74-80

References

- [1] Sugio A., MacLean A.M., Kingdom H.N., Grieve V.M., Manimekakai R., Hogenhout S.A. Diverse targets of phytoplasma effectors: from plant development to defense against insects. *Annual Review of Phytopathology*, 2011, v. 49, pp. 175–195. DOI:10.1146/annurev-phyto-072910-095323
- [2] Money N.P. *Mushrooms: A Natural and Cultural History*. London: Reaktion Books, 2017, 224 p.
- [3] Hoshi A., Oshima K., Kakizawa S., Ishii Y., Ozeki J., Hashimoto M., Komatsua K., Kagiwadab S., Yamajia Y., Namba S. A unique virulence factor for proliferation and dwarfism in plants identified from a phytopathogenic bacterium. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2009, v. 106, iss. 15, pp. 6416–6421. DOI: 10.1073/pnas.0813038106
- [4] Seo J.K., Kim M.K., Kwak H.R., Kim J.S., Choi H.S. Complete Genome Sequence of Longan Witches' Broom-associated Virus, a Novel Member of the Family Potyviridae. *Archives of Virology*, 2017, v. 162, iss. 9, pp. 2885–2889. DOI: 10.1007/s00705-017-3405-2
- [5] Buckland D.C., Kuijt J. Unexplained brooming of Douglas-fir and other conifers in British Columbia and Alberta. *Forest Science*, 1957, v. 3, iss. 3, pp. 236–242.
- [6] Fordham A.J. Dwarf conifers from witches' brooms. *Arnoldia*, 1967, v. 24, pp. 29–50.
- [7] Khairov A.A. *O ved'minoy metle na sosne* [Witches' broom on *Pinus sylvestris*]. *Botanicheskii Zhurnal* [Botanical Journal], 1973, v. 58, no. 3, pp. 433–436.
- [8] Vrgoc P. Witches' broom of Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.) and its use for new ornamentals. *Acta horticulturae*, 2002, v. 29, pp. 199–205. DOI: 10.17660/ActaHortic.2002.572.23
- [9] Yamburov M.S. *«Ved'miny metly» mutacionnogo tipa u nekotorykh vidov semejstva Pinaceae. Dis. ... kand. biol. nauk* [Mutational witches' brooms in some *Pinaceae* species. Diss. ... Cand. Sci. (Biol.)]. Tomsk, 2010, 133 p.
- [10] Noskov V.I., Negrutskiy S.F. *K voprosu o proiskhozhdenii «ved'minykh metel» na sosne* [About origin of witches' brooms in Scotch pine]. *Nauchnye zapiski Voronezhskogo lesotekhn. in-ta* [Scientific notes of the Voronezh Forestry Institute], 1956, v. 15, pp. 207–210.
- [11] Johnson A.G., Pauley S.S., Cromell W.H. Dwarf seedlings from witches' brooms in jack pine II. *Minnesota Forestry Notes*, 1965, no. 163, p. 2.
- [12] Rudolph T.D., O'-Malley D.M., Reed E.A. Potential for indirect selection of rescued jack pine embryos based upon linkage between seedling dwarfism and megagametophyte allozymes. *Conference proceedings: 3rd North Central tree improvement conference*, August 17–19, 1983, Wooster, OH, pp.162–174.
- [13] Yamburov M.S., Goroshkevich S.N. *«Ved'miny metly» kedra sibirskogo kak spontannye somaticheskie mutatsii: vstrechaemost', svoystva i vozmozhnosti ispol'zovaniya v selektsionnykh programmakh* [Witches'-brooms in Siberian stone pine as somatic mutations: occurrence, features and possibility of using in breeding programs]. *Khvoynnye boreal'noy zony* [Conifers of the Boreal Area], 2007, v. 24, no. 2–3, pp. 317–324.
- [14] Zhuk E., Vasilyeva G., Goroshkevich S. Witches' broom and normal crown clones from the same trees of *Pinus sibirica*: a comparative morphological study. *Trees*, 2015, v. 29, pp. 1079–1090. DOI:10.1007/s00468-015-1187-2
- [15] Vasilyeva G.V., Zhuk E.A. Needle structure of mutational witches' brooms in *Pinus sibirica*. *Dendrobiology*, 2016, v. 75, pp. 79–85. DOI:10.12657/denbio.075.008
- [16] Polyakova O., Zhuk E., Goroshkevich S. Cone quality and seed efficiency in the clones from mutational witches brooms of *Pinus sibirica*. *BIO Web of Conferences*, 2018, v. 11, pp. 144–148.

- [17] Owens J.N., Kittirat T., Mahalovich M.F. Whitebark pine (*Pinus albicaulis* Engelm.) seed production in natural stands. *Forest Ecology and Management*, 2008, v. 255, iss. 3–4, pp. 803–809. DOI:10.1016/j.foreco.2007.09.067
- [18] Niklas K. The aerodynamics of wind pollination. *The Botanical Review*, 1985, v. 51, pp. 328–386.
- [19] Polyakova O., Goroshkevich S., Zhuk E. Cone structure and seed development in grafted witches' broom and normal crown clones from the same trees of *Pinus sibirica*. *New Forests*, 2019, v. 50, iss. 5, pp 805–819.
DOI <https://doi.org/10.1007/s11056-018-09700-x>
- [20] Niklas K. *Plant Allometry: The Scaling of Form and Process*. Chicago, IL, US: University of Chicago Press, 1994, 412 p.

Authors' information

Polyakova Ol'ga Igorevna — Pg. NR TSU, Engineer I category in the IMCES SB RAS,
polyakova_olga93@mail.ru

Zhuk Evgeniya Anatol'evna — Cand. Sci. (Biology), Researcher in the IMCES SB RAS,
eazhuk@yandex.ru

Goroshkevich Sergey Nikolaevich — Dr. Sci. (Biology), Head Scientist in the IMCES SB RAS,
gorosh@imces.ru

Received 27.10.2019.

Accepted for publication 23.12.2019.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СТИМУЛЯТОРОВ РОСТА ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ ЕЛИ ЕВРОПЕЙСКОЙ (*PICEA ABIES L.*) В ЗАКРЫТОМ ГРУНТЕ

А.Р. Мухаметшина, Г.А. Петрова, Ш.Ш. Шайхразиев,
Н.Ф. Гибадуллин, Э.С. Русакова

ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», 420075, Республика Татарстан, г. Казань, п. Дербышки, ул. Главная, д. 69

aigulsafina@yandex.ru

Проведено испытание стимуляторов роста в теплице на территории Краснооктябрьского участкового лесничества Республики Татарстан. В качестве объекта исследования взяты сеянцы ели европейской (*Picea abies L.*) 1-го года выращивания наиболее перспективные в условиях республики. Как стимуляторы роста использовали гиббереллин и этиамон. В ходе двухлетних исследований получен положительный результат от опрыскивания сеянцев ели европейской растворами указанных препаратов, что способствовало увеличению показателей прироста высоты сеянцев и их сохранности. Показано, что в первый год опрыскивания в среднем прирост сеянцев увеличивается на 19,4 %, на второй год — на 43,7 % по сравнению с контрольным вариантом без опрыскивания в условиях закрытого грунта. Достигнуто увеличение выхода посадочного материала с одного погонного метра в среднем от 6,0 до 41,1 %. Полученные результаты указывают на целесообразность проведения систематического опрыскивания стимуляторами роста в целях сокращения сроков выращивания и увеличения количества выхода сеянцев с одного погонного метра.

Ключевые слова: ель европейская, стимуляторы роста, закрытый грунт

Ссылка для цитирования: Мухаметшина А.Р., Петрова Г.А., Шайхразиев Ш.Ш., Гибадуллин Н.Ф., Русакова Э.С. Эффективность применения стимуляторов роста при выращивании ели европейской (*Picea abies L.*) в закрытом грунте // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 3. С. 81–86.
DOI: 10.18698/2542-1468-2020-3-81-86

Леса Республики Татарстан расположены на территории двух лесорастительных зон: смешанных лесов и лесостепной. Для них характерны как таежные, так и степные виды растительности и животных [1]. Республика Татарстан относится к малолесным регионам России с лесистостью 17,6 %, на одного жителя республики приходится примерно 0,3 га лесной площади [2]. Тогда как по РФ эти показатели составляют, соответственно — 46 % и 5,3 га. На современном этапе развития лесного хозяйства Республики Татарстан необходимо проведение работ по лесовозобновлению в целях повышения лесистости. Одним из эффективных мероприятий по лесовозобновлению считается создание лесных культур [3]. Основная задача искусственного лесовозобновления — это создание устойчивых высокопродуктивных насаждений хозяйственно ценных пород [4]. Работы по лесовозобновлению должны быть направлены на сохранение и повышение природоохранных и других полезных свойств леса [5]. Создание лесных культур осуществляют путем посева и посадки сеянцев и саженцев [6].

Для удовлетворения все возрастающей потребности нужд лесного хозяйства региона в посадочном материале необходима интенсификация процесса выращивания сеянцев и саженцев [7]. Сокращению сроков выращивания посадочного материала способствует применение стимулято-

ров роста [8, 9]. К настоящему времени при выращивании сельскохозяйственных культур успешно используют различные стимуляторы роста, которые способствуют повышению их урожайности и устойчивости к различным заболеваниям. В области лесного хозяйства также начаты исследования в данном направлении [10, 11], в частности, по изучению влияния стимуляторов роста на лесобразующие породы [12–14].

Цель работы

Цель работы — выявление эффективности применения стимуляторов роста — гиббереллина и этиамона при выращивании сеянцев ели европейской в закрытом грунте.

Объекты и методы

Исследования проводились в условиях закрытого грунта в теплице Краснооктябрьского участкового лесничества РТ. Объектом исследования являются сеянцы ели европейской (*Picea abies L.*) 1-го года выращивания. Для посева использовались местные семена 1-го класса качества [15], заготовленные на семенных участках, расположенных на территории Государственного казенного учреждения «Зеленодольское лесничество». В качестве субстрата в теплице использовался верховой сфагновый торф. Минеральное питание растений обеспечивалось путем внесения слож-

ного по составу удобрения (нитроаммофоска), содержащего азот, фосфор и калий. Применяемое минеральное удобрение обеспечивает потребность сеянцев в основных питательных элементах в течение всего вегетационного периода. Посев семян ели осуществляли с начала апреля 2018 г. Полные всходы наблюдали примерно через один месяц после посева. Когда всходы окрепли, опытный участок был разделен на три части площадью 10 м² (с учетом контрольного) по существующим методикам полевого опыта [16, 17]. Перед началом работ проводили измерения биометрических показателей сеянцев ели европейской [18].

В качестве стимуляторов роста использовали препараты гиббереллин и этамон. Рабочий раствор этих препаратов был приготовлен в концентрации 0,01 мл/л. Первое опрыскивание сеянцев стимуляторами роста провели ручным способом с помощью пульверизатора в начале июня. Обработка сеянцев раствором препарата гиббереллина осуществлялась двукратно — второе опрыскивание производилось спустя 30 суток. Раствором этамона опрыскивали трехкратно, начиная с июня месяца, через каждые последующие 14 суток. Сеянцы из контрольного варианта стимуляторами роста не обрабатывали. На второй год исследования (2019 г.) сеянцы были обработаны препаратами по схеме прошлого года. Контрольный вариант также не обрабатывали стимуляторами [19].

Результаты исследований

По результатам исследования, пришли к выводу о том, что после первого опрыскивания влияние стимулирующих препаратов на высоту однолетних сеянцев ели было незначительным ($HCP_{05} = 0,39$ — не доказано). Тенденция к увеличению показателя роста сеянцев наблюдалась в вариантах с применением стимуляторов роста после второго опрыскивания. Так, в конце вегетационного периода показатели высоты сеянцев в среднем были больше на 8,0 % по сравнению с контролем. В целом за вегетационный период 2018 г. показатели прироста сеянцев ели европейской увеличились в среднем на 19,4 % к контролю в вариантах с применением стимуляторов роста (табл. 1).

По нашим данным, за вегетационный период 2018 г. сохранность сеянцев ели европейской в закрытом грунте во всех вариантах опыта была практически на одном уровне и варьировала в пределах 96,7–97,9 %. Однако, применение препаратов гиббереллина и этамона показало превышение среднего количества сеянцев на один погонный метр относительно контрольного варианта на 6,0 и 41,1 % соответственно (табл. 2). Полученные данные свидетельствуют о том, что стимуляторы роста оказали положительное влияние не только на рост и развитие сеянцев ели ев-

Т а б л и ц а 1

Изменение высоты сеянцев ели европейской за вегетационный период 2018 г., см Change in the height of European spruce seedlings for the growing season of 2018, cm

Показатель высоты	Дата	Варианты опыта			HCP ₀₅
		конт-роль	гиббереллин	этамон	
Средний	Июнь	3,66	3,84	3,89	—
	Июль	4,2	4,24	4,2	*
	Октябрь	4,38	4,7	4,75	0,30
Прирост	Июнь–октябрь	0,72	0,86	0,86	—

Примечание. * — достоверно не доказано $F_{\text{расч.}} < F_{\text{табл.}}$

Т а б л и ц а 2

Сохранность сеянцев ели европейской за первый год исследования (2018 г.) Preservation of European spruce seedlings for the first year of the study (2018)

Показатель	Дата	Варианты опыта			HCP ₀₅
		конт-роль	гиббереллин	этамон	
Среднее кол-во, шт./п.м.	Июнь	192	205	275	6,46
	Октябрь	188	200	266	5,48
Сохранность, %	Июнь–октябрь	97,9	97,6	96,7	—

Т а б л и ц а 3

Изменение высоты сеянцев ели европейской за вегетационный период 2019 г., см Change in the height of European spruce seedlings for the growing season of 2019, cm

Показатель высоты	Дата	Варианты опыта			HCP ₀₅
		конт-роль	гиббереллин	этамон	
Средняя	Июнь	5,28	4,8	5,27	0,18
	Октябрь	8,8	9,86	10,1	0,25
Прирост	Июнь–октябрь	3,52	5,06	4,83	—

ропейской, но и на выход посадочного материала с одного погонного метра [20].

В 2019 г. продолжились исследования по изучению влияния стимуляторов роста на биометрические показатели сеянцев ели европейской. Как показали дальнейшие наблюдения, происходило значительное увеличение показателей прироста высоты за вегетационный период под влиянием стимуляторов роста. Наибольший прирост высоты сеянцев ели обеспечило опрыскивание гиббереллином — 5,06 см, что выше контрольного варианта на 43,7 % (табл. 3).

На фото представлены сеянцы ели европейской после обработки растворами стимуляторов роста в 2019 г.



Сеянцы ели европейской после обработки гиббереллином
Seedlings of European spruce after spraying with gibberellin

Сравнительный анализ результатов двухлетних исследований показал, что наибольший прирост высоты сеянцев ели европейской был достигнут при применении раствора этамона — 6,21 см, что превышает показатель контрольного варианта на 21,8 %. Вторым по значимости оказался вариант с использованием раствора гиббереллина — прирост в высоту составил 6,02 см, также превысивший показатели контрольного варианта на 18,0 % (табл. 4).

По сравнению с данными 2018 г. сохранность сеянцев ели европейской также показала высокие значения. Так, в контрольном варианте опытного участка сохранность сеянцев ели европейской составила 95,2 %. Опрыскивание растворами препаратов гиббереллина и этамона обеспечило сохранность в среднем 98,8 %, что превысившую контрольный вариант на 3,6 % (табл. 5).

Отпад сеянцев происходил вследствие повреждения во время проведения мероприятий по уходу за ними в условиях закрытого грунта. Как и в предыдущем году, сохранилась тенденция к увеличению выхода стандартного посадочного материала на один погонный метр при применении стимуляторов роста.

Выводы

Таким образом, в ходе двухлетних исследований получен положительный результат от опрыскивания сеянцев ели европейской растворами препаратов этамона и гиббереллина, что сказалось на увеличении показателей прироста высоты сеянцев и сохранности. В среднем в первый год опрыскивания прирост сеянцев увеличился на 19,4 %, на второй год – на 43,7 % по сравнению с контрольным вариантом без опрыскивания в условиях закрытого грунта. Увеличился выход посадочного материала с одного погонного метра в среднем от 6,0 до 41,1 %. Полученные резуль-

Т а б л и ц а 4

Сравнительный анализ высоты сеянцев ели европейской за вегетационный период 2018 и 2019 гг., см

Comparative analysis of the height of European spruce seedlings during the growing season 2018 and 2019, cm

Показатель высоты	Дата	Варианты опыта			НСР ₀₅
		контроль	гиббереллин	этамон	
Средняя	Октябрь, 2018 г.	3,66	3,84	3,89	–
	Октябрь, 2019 г.	8,8	9,86	10,1	0,25
Прирост	За один год	5,1	6,02	6,21	–

Т а б л и ц а 5

Сохранность сеянцев ели европейской за второй вегетационный период (2019 г.)

Preservation of European spruce seedlings for the second growing season (2019)

Показатель	Дата	Варианты опыта			НСР ₀₅
		контроль	гиббереллин	этамон	
Среднее кол-во, шт./п.м.	Май, 2019 г.	188	198	265	4,01
	Октябрь, 2019 г.	179	196	262	4,01
Сохранность, %	Май–октябрь	95,2	98,9	98,8	–

таты указывают на целесообразность проведения систематического опрыскивания стимуляторами роста в целях сокращения сроков выращивания и увеличения количества выхода сеянцев с одного погонного метра.

Список литературы

- [1] Ведерников Н.М. Состояние питомнического хозяйства и совершенствование технологии выращивания сосны и ели на базе интегрированной системы защиты от болезней // Рубки и восстановление леса в среднем Поволжье: сб. науч. ст. М.: ВНИИЛМ, 1993. С. 73–74.
- [2] Бедердинов Э.Н., Гумеров Р.К., Гумаров Р.Р., Галиев Т.Р. Современное состояние лесного хозяйства Республики Татарстан и перспективы его развития // Леса Евразии — леса Поволжья: Материалы XVII Международ. 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.: ООО «ИПЦ Маска», 2017. С. 15–20.
- [3] Писаренко А.И., Редько Г.И., Мерзленко М.Д. Искусственные леса, в 2 ч. М.: ВНИИЦлесресурс, 1992. Ч. 1. 308 с.
- [4] Писаренко А.И., Мерзленко М.Д. Создание искусственных лесов. М.: Агропромиздат, 1990. 270 с.

- [5] Мерзленко М.Д., Мельник П.Г. Лесоводственная экскурсия в леса Клинско-Дмитровской гряды. М.: МГУЛ, 2002. 93 с.
- [6] Мерзленко М.Д., Бабич Н.А. Теория и практика искусственного лесовосстановления. Архангельск: САФУ, 2011. 239 с.
- [7] Белостоцкий Ф.Е., Извекова И.М., Мелешин П.И., Маслаков Е.Л. Посадочный материал с закрытой корневой системой. М.: Лесная пром-сть, 1981. 143 с.
- [8] Журавлева М.В. Влияние стимуляторов на рост сеянцев ели и сосны // Лесное хозяйство, 1978. №5. С. 37–40.
- [9] Попивший И.И., Шапкин О.М. Отзывчивость саженцев сосны и ели на действие регуляторов роста и микроэлементов // Лесное хозяйство, 1986. №12. С. 31–33.
- [10] Чернышева Н.К., Князева В.В., Минкевич И.И. Способ стимулирования сеянцев хвойных пород: описание изобретения к авторскому свидетельству. Ленинград: Ленинградская ордена Ленина лесотехническая академия, 1982. URL: https://findpatent.ru/img_show/5429242.html (дата обращения 16.09.2019).
- [11] Романов Е.М. Интенсификация выращивания лесопосадочного материала в Среднем Поволжье: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.03.01. Йошкар-Ола, 1999. 46 с.
- [12] Сабиров А.М., Мухаметшина А.Р. Эффективность предпосевной обработки семян ели европейской удобрительными препаратами «Биоплант Флора», «Гумат» и внесение азотных удобрений // Вестник Казанского государственного аграрного университета, 2015. № 3 (37). С. 144–147.
- [13] Мурая Л.С., Рязанцева Л.А., Сиволапов А.И. Цитогенетический механизм влияния биостимуляторов роста на проростки семян ели европейской (*Picea excelsa* Link.) и сосны обыкновенной (*Pinus silvestris* L.) // Лесотехнический журнал, 2017. Т. 7. № 2 (26). С. 83–91.
- [14] Тупик П.В. Использование новых стимуляторов роста при выращивании сеянцев хвойных интродуцентов в условиях закрытого грунта // Тр. Белорусского государственного технологического университета. Лесное хозяйство, 2008. № 16. С. 223–226.
- [15] Мерзленко М.Д. Лесокультурное дело. М.: МГУЛ, 2009. 124 с.
- [16] Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
- [17] Наставления по выращиванию посадочного материала древесных и кустарниковых пород в лесных питомниках РСФСР. М.: Лесная пром-сть, 1979. 176 с.
- [18] Новосельцева А.И., Смирнов Н.А. Справочник по лесным питомникам. М.: Лесная пром-сть, 1983. 84 с.
- [19] Рекомендации по технологии выращивания посадочного материала сосны и ели с закрытой корневой системой. Минск: Министерство лесного хозяйства, 2005. 20 с.
- [20] Редько Г.И., Мерзленко М.Д., Бабич Н.А. Лесные культуры. СПб.: СПбГЛТА, 2005. 552 с.

Сведения об авторах

Мухаметшина Айгуль Рамилевна — канд. с.-х. наук, доцент кафедры лесоводства и лесных культур факультета лесного хозяйства и экологии, ФГБОУ Казанский ГАУ, aigulsafina@yandex.ru

Петрова Гузель Анисовна — канд. с.-х. наук, доцент кафедры таксации и экономики лесной отрасли факультета лесного хозяйства и экологии, ФГБОУ Казанский ГАУ, guzel-petrva@ Rambler.ru

Шайхразиев Шамиль Шайхенурович — канд. с.-х. наук, доцент кафедры лесоводства и лесных культур факультета лесного хозяйства и экологии, ФГБОУ Казанский ГАУ, shaihratievsh@mail.ru

Гибадуллин Нурсиль Фоатович — канд. с.-х. наук, доцент кафедры лесоводства и лесных культур, ФГБОУ Казанский ГАУ, Nursil.Gibadullin@mail.ru,

Русакова Эмилия Сергеевна — бакалавр III курса факультета лесного хозяйства и экологии, ФГБОУ Казанский ГАУ, emiliya-rusakova@mail.ru

Поступила в редакцию 16.10.2019.

Принята к публикации 02.02.2020.

EFFECTIVENESS OF GROWTH STIMULANTS IN EUROPEAN SPRUCE CULTIVATION UNDER COVER

A.R. Mukhametshina, G.A. Petrova, Sh.Sh. Shaykhraziev,
N.F. Gibadullin, E.S. Rusakova

Kazan State Agrarian University, 69, Glavnaya st., 420075, Derbyshki, Kazan, Republic of Tatarstan, Russia
aigulsafina@yandex.ru

Growth stimulants were tested in a greenhouse of the Krasnooktyabrsky production site. The one-year old seedlings of European spruce (*Picea abies* L.), which are the most promising in the conditions of the Republic of Tatarstan, were taken as the object of study. Gibberellin and ethamon were used as growth stimulants. In the course of the two-year research, a positive result was obtained by spraying seedlings of European spruce with the stimulants ethamon and gibberellin, which affects the increase in growth rates of seedling height and vitality. On average, in the first year of spraying, the growth of seedlings increases by 19,4 % and in the second year by 43,7 % compared with the control version, without spraying in under cover conditions. The yield of planting stock from one linear meter increases on average from 6,0 to 41,1 %. The results obtained indicate the feasibility of systematic spraying with growth stimulants in order to reduce the growing time and increase the number of seedlings from 1 linear meter.

Keywords: European spruce, growth stimulants, under cover

Suggested citation: Mukhametshina A.R., Petrova G.A., Shaykhraziev Sh.Sh., Gibadullin N.F., Rusakova E.S. *Effektivnost' primeneniya stimulyatorov rosta pri vyrashchivaniy eli evropeyskoy (Picea abies L.) v zakrytom grunte* [Effectiveness of growth stimulants in European spruce cultivation under cover]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 3, pp. 81–86. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-3-81-86

References

- [1] Vedernikov N.M. *Sostoyanie pitomnicheskogo khozyaystva i sovershenstvovanie tekhnologii vyrashchivaniya sosny i eli na baze integrirovannoy sistemy zashchity ot bolezney* [The state of the nursery and the improvement of technology for growing pine and spruce based on an integrated system of protection against diseases] *Rubki i vosstanovlenie lesa v srednem Povolzh'e: sb. nauch. st.* [Felling and restoration of the forest in the average Volga region: collection scientific art]. Moscow: VNIILM, 1993, pp. 73–74.
- [2] Bedertdinov E.N., Gumerov R.K., Gumarov R.R., Galiev T.R. *Sovremennoe sostoyanie lesnogo khozyaystva Respubliki Tatarstan i perspektivy ego razvitiya* [Modern state of forestry of the Republic of Tatarstan and its development prospects]. *Lesa Evrazii — lesa Povolzh'ya: Materialy XVII Mezhdunarodnoy konferentsii molodykh uchenykh, posvyashchennoy 150-letiyu so dnya rozhdeniya professora G.F. Morozova, 95-letiyu Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta i Godu ekologii v Rossii* [Eurasia Forests — Volga Forests: Materials of the XVII International Conference of Young Scientists dedicated to the 150th anniversary of the birth of Professor G.F. Morozova, the 95th anniversary of Kazan State Agrarian University and the Year of Ecology in Russia], Kazan', 22–28 October 2017. Moscow: OOO «IPC Maska», 2017. pp. 15–20.
- [3] Pisarenko A.I., Red'ko G.I., Merzlenko M.D. *Iskusstvennye lesa, v 2 ch. Ch. I.* [Artificial forests. P. I]. Moscow: VNIIClesresurs, 1992, 308 p.
- [4] Pisarenko A.I., Merzlenko M.D. *Sozdanie iskusstvennykh lesov* [Creation of artificial forests]. Moscow: Agropromizdat, 1990, 270 p.
- [5] Merzlenko M.D., Mel'nik P.G. *Lesovodstvennaya ekskursiya v lesa Klinsko-Dmitrovskoy gryady* [A forest excursion to the forests of the Klin-Dmitrov ridge]. Moscow: MGUL, 2002, 93 p.
- [6] Merzlenko M.D., Babich N.A. *Teoriya i praktika iskusstvennogo lesovosstanovleniya* [Theory and practice of artificial reforestation]. Arkhangel'sk: SAFU, 2011, 239 p.
- [7] Belostotskiy F.E., Izvekova I.M., Meleshin P.I., Maslakov E.L. *Posadochnyy material s zakrytoy kornevoy sistemoy* [Planting stock with a closed root system]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forest industry], 1981, 143 p.
- [8] Zhuravleva M.V. *Vliyaniye stimulyatorov na rost seyantsev eli i sosny* [The effect of stimulants on the growth of seedlings of spruce and pine]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry], 1978, no. 5, pp. 37–40.
- [9] Popivshchiy I.I., Shapkin O.M. *Otzyvchivost' sazhentsev sosny i eli na deystvie regulyatorov rosta i mikroelementov* [Responsiveness of pine and spruce seedlings to the action of growth regulators and trace elements]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry], 1986, no. 12, pp. 31–33.
- [10] Chernysheva N.K., Knyazeva V.V., Minkevich I.I. *Sposob stimulirovaniya seyantsev khvoynnykh porod: opisanie izobreteniya k avtorskomu svidetel'stvu* [A method of stimulating seedlings of coniferous species: description of the invention to the copyright certificate]. Leningrad: Leningradskaya ordena Lenina lesotekhnicheskaya akademiya [Leningrad Order of Lenin Forestry Academy], 1982. https://findpatent.ru/img_show/5429242.html (accessed 16.09.2019).
- [11] Romanov E.M. *Intensifikatsiya vyrashchivaniya lesoposadochnogo materiala v Srednem Povolzh'ya* [Intensification of growing planting material in the Middle Volga]. Diss. Dr. Sci. (Agric.). Jshkar-Ola, 1999, 46 p.
- [12] Sabirov A.M., Mukhametshina A.R. *Effektivnost' predposevnoy obrabotki semyan eli evropeyskoy udobritel'nyimi preparatami «Bioplant Flora», «Gumat» i vnesenie azotnykh udobreniy* [The effectiveness of pre-sowing seed treatment of spruce European fertilizers «Bioplant Flora», «Humate» and the introduction of nitrogen fertilizers]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of Kazan State Agrarian University], 2015, no. 3 (37), pp. 144–147.

- [13] Muraya L.S., Ryazantseva L.A., Sivolapov A.I. *Tsitogeneticheskiy mekhanizm vliyaniya biostimulyatorov rosta na prorostki semyan eli evropeyskoy (Picea exelsa Link.) i sosny obyknovennoy (Pinus silvestris L.)* [Cytogenetic mechanism of the influence of biostimulators on growth of seedlings seeds of Norway spruce (*Picea exelsa* Link.) and Scots pine (*Pinus silvestris* L.)]. *Lesotekhnicheskiy zhurnal* [Forestry Journal], 2017, t. 7, no. 2 (26), pp. 83–91.
- [14] Tupik P.V. *Ispol'zovanie novykh stimulyatorov rosta pri vyrashchivanii seyantsev khvoynykh introdutsentov v usloviyakh zakrytogo grunta* [The use of new growth stimulants in the cultivation of seedlings of coniferous introducers in closed ground conditions]. *Trudy Belorusskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Lesnoe khozyaystvo* [Transactions of Belarusian State Technological University. Forestry], 2008, no. 16, pp. 223–226.
- [15] Merzlenko M.D. *Lesokul'turnoe delo* [Silvicultural Business]. Moscow: MSFU, 2009, 124 p.
- [16] Dospekhov B.A. *Metodika polevogo opyta* [Methods of field experience]. Moscow: Agropromizdat, 1985, 351 p.
- [17] *Nastavleniya po vyrashchivaniyu posadochnogo materiala drevesnykh i kustarnikovykh porod v lesnykh pitomnikakh RSFSR* [Instructions for the cultivation of planting material of wood and shrub species in the forest nurseries of the RSFSR]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forest industry], 1979, 176 p.
- [18] Novosel'tseva A.I., Smirnov N.A. *Spravochnik po lesnym pitomnikam* [Handbook of forest nurseries]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forest industry], 1983, 84 p.
- [19] *Rekomendatsii po tekhnologii vyrashchivaniya posadochnogo materiala sosny i eli s zakrytoy kornevoy sistemoy* [Recommendations on the technology of growing planting material of pine and spruce with a closed root system]. Minsk: Ministerstvo lesnogo khozyaystva, 2005, 20 p.
- [20] Red'ko G.I., Merzlenko M.D., Babich N.A. *Lesnye kul'tury* [Forest culture]. St. Petersburg: SPBLTA, 2005, 552 p.

Authors' information

Mukhametshina Aigul Ramilevna — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Department of Forestry and Forest Cultures Faculty of Forestry and Ecology, Kazan State Agrarian University, aigulsafina@yandex.ru

Petrova Guzel Anisovna — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Department of Taxation and Economics of the Forestry Industry Faculty of Forestry and Ecology, Kazan State Agrarian University, guzel-petrva@rambler.ru

Shaikhraziev Shamil Shaikhenurovich — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Department of Forestry and Forest Cultures Faculty of Forestry and Ecology, Kazan State Agrarian University, shaihratievsh@mail.ru

Gibadullin Nursil Foatovich — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Department of Forestry and Forest cultures, Kazan State Agrarian University, Nursil.Gibadullin@mail.ru

Rusakova Emilia Sergeevna — Bachelor of the third year of the Faculty of Forestry and Ecology, Kazan State Agrarian University, emiliya-rusakova@mail.ru

Received 16.10.2019.

Accepted for publication 02.02.2020.

БИОХИМИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ПОСТПИРОГЕННЫХ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ ЛЕНТОЧНЫХ И ПРИОБСКИХ БОРОВ АЛТАЙСКОГО КРАЯ

С.И. Завалишин, В.С. Карелина, А.В. Орлов, В.Ю. Патрушев

ФГБОУ ВО Алтайский государственный аграрный университет, 656049, Барнаул, Красноармейский пр-т, д. 98

serg11zav@mail.ru

Проведены исследования биохимического потенциала постпирогенных дерново-подзолистых почв в пределах Касмалинской и Барнаульской лент ленточного бора, а также в приобском Правобережном бору. В ходе работ были заложены почвенные разрезы, вскрывающие иллювиальную толщу почвенного профиля, в пределах участков гари верховых лесных пожаров высокой интенсивности (пожары 1997, 2006 и 2010 гг.), среди насаждений сосны обыкновенной. Зафиксировано изменение морфологического строения почвенного профиля, физико-химических свойств и биохимического потенциала почв. В результате воздействия высокой температуры на песчаные дерново-подзолистые почвы, распространенные в условиях засушливой степи Алтайского края (юго-западные части касмалинской и барнаульской лент ленточного бора) отмечается потеря структурности, изменение плотности, уничтожение дернового и гумусово-аккумулятивного горизонтов. Установлено, что при сочетании легкого гранулометрического состава, выраженного микро- и нанорельефа, активизации дефляции в почвах локальных водоразделов формируются вторые гумусовые горизонты в виде тонких сплошных полос и темно-серых пятен, погребенные под песчаными наносами. Отмечено, что актуальная кислотность и особенности строения гумусового профиля в приобских дерново-подзолистых почвах гари 2006 г соответствуют фоновым показателям естественных почв, не испытавших воздействие лесных пожаров. Выявлена нейтральная реакция водной вытяжки почвенного раствора гумусово-аккумулятивного горизонта гари 1997 г Касмалинской ленты ленточного бора, что указывает на подщелачивание почв продуктами горения лесной подстилки и древесины. Низкая обеспеченность осадками в зоне сухой степи не позволяет восстановить актуальную кислотность до фоновых значений кислой реакции среды. Общий биохимический потенциал данных почв снижен. Установлено, что скорость восстановления комплекса естественных свойств постпирогенных дерново-подзолистых почв приобского Правобережного бора выше, по сравнению с постпирогенными почвами ленточных боров Алтайского края. Прогноз на перспективу не составляли.

Ключевые слова: пирогенез, лесной пожар, дерново-подзолистые почвы, вторые гумусовые горизонты, биохимия почв, фенолоксидазная активность

Ссылка для цитирования: Завалишин С.И., Карелина В.С., Орлов А.В., Патрушев В.Ю. Биохимический потенциал постпирогенных дерново-подзолистых почв ленточных и приобских боров Алтайского края // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 3. С. 87–93. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-3-87-93

Пирогенез относится к значимым факторам формирования почвенного покрова лесных территорий, который значительно изменяет биоценозы, воздействуя комплексом факторов, ведущим среди которых является высокая температура воздуха [1–5]. Ежегодно в Алтайском крае от лесных пожаров погибает от сотен до нескольких тысяч гектар лесных насаждений, что значительно изменяет почвенный покров [6].

Наиболее масштабные лесные пожары влекут за собой значительные материальные затраты на их тушение, и обуславливают необходимость проведения широкомасштабных лесовосстановительных мероприятий [4]. В 1997 г. пожарами было уничтожено более 11 000 га леса в Угловском и Рубцовском р-нах, которые возникли вследствие неблагоприятного сочетания аномально высоких температур, ураганного ветра и длительной засухи [6].

По данным Рослесхоза лесной пожар 2010 г., произошедший на территории Михайловского р-на, отличался уникальными особенностями:

поздним сроком своего начала (8 сентября), очень интенсивным развитием, экстремально высокой температурой горения и быстрым распространением, что впоследствии привело к значительным негативным изменениям свойств почвенного покрова. Интенсивность и скорость развития сложившихся условий значительно превосходили все ранее произошедшие лесные пожары в современной России [6].

Для разработки комплекса мероприятий по лесовосстановлению в первую очередь необходимо глубоко изучить современное состояние почвенного покрова и тенденции эволюции постпирогенных почв. Лесные пожары по-разному воздействуют на агрохимические, агрофизические и биохимические свойства дерново-подзолистых почв, распространенных в климатических условиях лесостепной зоны Алтайского края (приобский Правобережный бор) и в пределах засушливой степи (Касмалинская и Барнаульская ленты ленточного бора) проявляются по-разному. В научной литературе имеются данные об

изменении морфологии и гранулометрического состава почв, их агрохимических свойств [7], однако практически отсутствуют данные об их биохимическом потенциале, который является основой самовосстановления почв, поддерживает уровень интенсивности синтеза и разложения гумуса, органических соединений азота и фосфора, что необходимо для успешного функционирования растительного сообщества. Известно, что комплекс ферментов многогранно изменяется под действием высоких температур, поскольку ферменты являются катализаторами белковой природы и подвержены температурной инактивации. В связи с этим важное значение приобретает детальное изучение активности комплекса ферментов, отражающих общий биохимический потенциал почв.

Цель работы

Цель работы — оценка биохимического потенциала постпирогенных дерново-подзолистых почв ленточных и приобских боров Алтайского края.

Объекты и методы исследований

Исследования по изучению биохимического потенциала постпирогенных дерново-подзолистых почв проводились среди интразональных дерново-подзолистых почв Барнаульской и Касмалинской лент ленточного бора; приобского Правобережного бора. Лесные участки, в пределах которых проводились исследования, являются репрезентативными по отношению к основному деструктивному фактору — верховому лесному пожару высокой интенсивности.

Почвенные разрезы, вскрывающие иллювиальную толщу были заложены на гари 1997 г. в юго-западной части Барнаульской ленты ленточного бора в зоне сухой степи, занимающей площадь 11 000 га. Лесорастительные условия здесь сухие и очень сухие, годовая сумма осадков по средним многолетним данным составляет 220...250 мм [8]. Рельеф как один из основных факторов почвообразования имеет особенность — сложный дюнно-бугристо-грядовый характер. Доля сосновых насаждений составляет 92,7 %, тип леса — сухой бор пологих всхолмлений, составляющий 63,2 %, а также свежий бор, простирающийся на 30,7 % территории. Средний класс бонитета сосны III,0 [6]. Почвенные разрезы были заложены на водораздельном участке в автоморфных условиях.

Лесовосстановление на исследуемой территории неудовлетворительное, подрост и подлесок отсутствуют, живой напочвенный покров слабый, изреженный, представлен единичными злаковыми растениями.

В качестве контроля послужил почвенный разрез, вскрытый в пределах лучших лесорастительных условий с хорошо развитым подлеском и подростом сосны обыкновенной с преимущественно мертвопокровным напочвенным покровом.

Лесорастительные условия гари 2010 г., простирающейся в пределах юго-западной части Касмалинской ленты ленточного бора схожи с территорией гари 1997 г. Однако имеется и характерное отличие — более выровненный рельеф, не имеющий выраженных дюнно-бугристых всхолмлений [9]. Почвенные разрезы здесь были заложены не только в пределах гари, но и на контрольном участке.

Гарь 2006 г. простирается в восточной части приобского Правобережного бора в климатических условиях лесостепной зоны, где преобладают травяной и свежий боры. Средний класс бонитета сосны на исследуемом участке II,0. Подлесок и подрост развиваются неоднородно, прослеживается динамика приуроченности к элементам рельефа. В пределах локальных водоразделов с худшими гидрологическими условиями подрост отсутствует, напочвенный растительный покров развит слабо.

При исследовании и описании современного состояния почв были детально описаны их морфологическое строение с указанием общего состояния биоценоза и даны агрохимическая и биохимическая оценки состояния почвенного покрова. В ходе работ использовались общепринятые в почвоведении методики [10–12]. Условный коэффициент интенсивности накопления гумуса определяли по соотношению активности ферментов полифенолоксидаза (ПФО) и пероксидаза (ПО) [12].

Результаты и их обсуждение

Исследования по изучению современного состояния постпирогенных почв, их биохимического потенциала проводились на территориях разновозрастных гарей — 1997, 2006 и 2010 гг. Изученные почвенные разности объединяет особое пирогенное воздействие — высокая интенсивность верховых лесных пожаров, в результате которых были полностью уничтожены лесные насаждения и напочвенный растительный покров.

Постпирогенные почвы ленточных боров, распространенные в климатических условиях засушливой степи, характеризуются особым строением почвенного профиля. При положении в пределах локальных повышений рельефа формируются два слабо развитых гумусовых горизонта. Строение почвенного профиля: $A_0A_1I-A_0A_1II-A_1A_2-A_2-A_2B-B$.

Наличие двух гумусовых горизонтов при полевом описании почв подтверждается значитель-

ным различием плотности почв и их структурой. Верхний гумусовый горизонт постепенно формируется на навешанной минеральной толще, сформировавшейся в результате развития дефляции легкой по гранулометрическому составу почвы при выгорании дернового и гумусово-аккумулятивного горизонтов. Гумусовые горизонты — желтовато-белесовато-серые, рыхлые, сухие, бесструктурные, имеют обильные включения мелких частиц древесного угля. Подзолистая толща — белесая, уплотненная, постепенно переходит в иллювиальный плотный горизонт буровато-желтого цвета, обильно пропитанный оксидами железа.

В лучших гидрологических условиях на гари 1997 г. под покровом сохранившейся при пожаре и восстановленной путем искусственного и естественного лесовосстановления сосны обыкновенной морфологическое строение почв изменилось менее значительно. Профиль почв имеет типичное строение: $A_0-A_0A_1-A_1-A_1A_2-A_2-A_2B-B$. При более близком залегании грунтовых вод к поверхности, напочвенный покров развит лучше, дерновый горизонт имеет большую мощность и сохраняется при пирогенном воздействии. В настоящее время его мощность составляет 3...8 см, он представлен полуразложившимися растительными остатками, серовато-бурого цвета, рыхлого сложения. На поверхности почвы отмечается обилие включений древесного угля. Подзолистый горизонт менее выражен, чем в почвах локально повышения, и имеет меньшую мощность.

Морфологическое строение почв гари 2010 г. в пределах Касмалинской ленты ленточного бора значительно отличается от других дерново-подзолистых почв, которые были подвергнуты пирогенному воздействию. Лесная подстилка находится в зачаточном состоянии, состоящем из растительного опада, представленного злаковыми травами и хвоей подраста сосны обыкновенной. Морфологический профиль имеет следы пирогенного воздействия не только в дерновом и гумусово-аккумулятивном горизонтах, но и в пределах подзолистой толщи. В нижней части иллювиального горизонта отмечается обилие мелких включений древесного угля, мигрировавших по ходам выгоревших корней, а также в течение естественных процессов. Возможность значительной по глубине миграции древесного угля в профиле дерново-подзолистых почв отмечает А.С. Керженцев [13].

Гумусово-аккумулятивный горизонт дерново-подзолистой почвы гари 2010 г. темно-серого и черного цвета, что обусловлено обугливанием органических остатков и обильным поступлением древесного угля в профиль почвы. Почва сильно пылит, является бесструктурной, сухой, вскрытый профиль почвы легко осыпается при слабом механическом воздействии.

Одновременно с почвенным профилем гари 2010 г. была вскрыта фоновая дерново-подзолистая почва в пределах сохранившегося участка соснового бора юго-западной части Касмалинской ленты ленточного бора. Фоновая почва имеет типичное морфологическое строение почвенного профиля, хорошо развитые дерновый и гумусово-аккумулятивный горизонты, которые имеют комковато-плитчатую структуру. Подзолистый горизонт желтовато-белесый, является переходным к иллювиальному. В целом морфологическое строение фоновых дерново-подзолистых почв Касмалинской ленты ленточного бора имеет строение, сходное с почвами приобского Правобережного бора. Профиль их имеет следующее строение: $A_0-A_0A_1-A_1-A_1A_2-A_2B-B$.

Развитие дефляции на легких по гранулометрическому составу почвах гари 2010 г. в условиях хорошо развитого микрорельефа приводит к формированию вторых гумусовых горизонтов, погребенных под эоловыми наносами [1]. Вторые гумусовые горизонты обнаружены в дерново-подзолистых почвах гари 2010 г. в условиях сухой степи на территории ленточных боров Алтайского края, а также на гари 2006 г. в пределах приобского Правобережного бора в лесостепной зоне Алтайского края.

В пределах локального водораздела гари 2006 г. обнаружены навешанные почвы, имеющие погребенный гумусовый горизонт (A_h) на глубине 15...18 см, над которым отмечается аккумуляция включений древесного угля. В результате обследования территорий, подвергшихся воздействию лесных пожаров, установлено, что вторые гумусовые горизонты имеют пирогенное происхождение. Наличие вторых гумусовых горизонтов в профиле фоновых дерново-подзолистых почв свидетельствует о пирогенном воздействии на почвы данных территорий.

Изучение морфологических особенностей строения профиля дерново-подзолистых почв гари 2006 г. также показало, что при наличии почв в пределах межгрядных понижений способствует их сохранности в случае пирогенного воздействия. В настоящее время строение профиля данных почв соответствует фоновому: $A_0-A_0A_1-A_1-A_1A_2-A_2B-B$, мощность дернового горизонта составляет 5...9 см.

Помимо изменения морфологического строения пирогенное воздействие значительно изменяет агрохимические свойства почв, которые по-разному проявляются в различных климатических зонах [5, 7, 14] (табл. 1).

Как следует из табл. 1, почвы гари 1997 г., распространенные в Касмалинской и Барнаульской лентах ленточного бора, значительно отличаются по уровню актуальной кислотности

Т а б л и ц а 1

Физико-химические свойства дерново-подзолистых почв гари 1997 и 2010 гг., Касмалинской и Приобской лент ленточного бора, приобского Правобережного бора

Physical-chemical properties of sod-podzolic soils of forest fires 1997 and 2010, the Kasmalinsky and Priob ribbon pine forests, the right-bank of the Ob pine forest

Почвенный горизонт	Глубина, см		рН _{вод}		Содержание гумуса, %	
	гарь 1997 г., ленточный бор (Касмалинская, Приобская ленты), сухая степь	гарь 2006 г., приобский Правобережный бор, лесостепь	гарь 1997 г., ленточный бор (Касмалинская, Приобская ленты), сухая степь	гарь 2006 г., приобский Правобережный бор, лесостепь	гарь 1997 г., ленточный бор (Касмалинская, Приобская ленты), сухая степь	гарь 2006 г., приобский Правобережный бор, лесостепь
A ₁	10...20	15...20	6,0	4,31	6,8	2,49
A ₁ A ₂	20...30	25...35	5,3	3,81	1,29	0,71
A ₂	45...55	–	4,9	–	0,01	–
A ₂ B	70...80	45...55	5,4	4,20	0,01	0,01
B	80-90	60...70	5,9	5,31	0,03	0,02

Т а б л и ц а 2

Биохимический потенциал дерново-подзолистых почв гари 1997 г. и 2010 г., Касмалинской и Барнаульской лент ленточного бора, приобского Правобережного бора

Biochemical potential of sod-podzolic soils of forest fires in 1997 and 2010, the Kasmalinsky and Barnaul ribbon pine forests, the right-bank of the Ob pine forest

Почвенный горизонт	Каталаза, O ₂ см ³ /г×мин		Уреаза, рН		Протеаза, %	
	гарь 1997 г., ленточный бор (Касмалинская, Барнаульская ленты), сухая степь	гарь 2006 г., приобский Правобережный бор, лесостепь	гарь 1997 г., ленточный бор (Касмалинская, Барнаульская ленты), сухая степь	гарь 2006 г., приобский Правобережный бор, лесостепь	гарь 1997 г., (Касмалинская, Барнаульская ленты), сухая степь	гарь 2006 г., приобский Правобережный бор, лесостепь
A ₁	1,4	7,0	1,2	2,5	98,6	100,0
A ₁ A ₂	0,6	4,9	3,5	1,5	42,9	60,5
A ₂	0,1	–	1,7	–	80,0	–
A ₂ B	0,6	1,9	1,1	0,3	83,2	82,0
B	0,0	0,2	0,1	0,0	100,0	99,1

и гумусированности профиля почв от гари 2006 г. в приобском Правобережном бору. Обильное поступление зольных элементов и древесного угля на поверхность дерново-подзолистой почвы вызывает подщелачивание почвенного раствора, уровень рН_{вод} гумусово-аккумулятивного горизонта соответствует нейтральному, что нетипично. Засушливые условия и низкое количество осадков приводят к длительному изменению рН_{вод} почвы. При этом изменение уровня актуальной кислотности затрагивает не только верхний горизонт, но и весь профиль почвы.

В настоящее время подщелачивание почвенного раствора почвы гари 2006 г. не выявлено, уровень актуальной кислотности соответствует кислой реакции среды — на уровне рН_{вод} фоновой дерново-подзолистой почвы. Быстрое восстановление рН_{вод} почвы связано с более увлажненными условиями и выносом щелочных продуктов гари за пределы почвенного профиля.

Содержание гумуса в исследуемых почвах также различно. В естественных условиях дерново-подзолистые почвы приобского Правобережного бора более гумусированы, чем почвы рассматриваемых ленточных боров, что связано с различием ведущих факторов почвообразования — растительности и климата. На этапе постпирогенной трансформации почв в гумусово-аккумулятивном горизонте гари 1997 г. обнаруживается высокая гумусированность, соответствующая 6,8 %, и низкая — 1,29 % в переходном горизонте. Предполагаем, что такой уровень содержания гумуса связан с несовершенством современных методов определения содержания гумуса в почве, при котором невозможно отделить углерод древесного угля от углерода гумуса, на что указывает А.С. Керженцев [13]. На поверхности данной почвы сохранено большое количество включений древесного угля, который постепенно пропитывает поч-

венную толщу и смешивается с минеральной массой. В связи с низким количеством осадков древесный уголь длительное время сохраняется в профиле почвы.

Гумусированность дерново-подзолистой почвы гари 2006 г. в пределах приобского Правобережного бора соответствует 2,49 %, что находится в пределах фоновой гумусированности дневных горизонтов дерново-подзолистых почв.

Биохимический потенциал почв гарей также во многом зависит от этапа трансформации пирогенных почв и климатических особенностей территории. Известно, что пирогенез значительно изменяет микробиологическую активность и соотношение групп микроорганизмов, обуславливающих ферментативную активность [15–18]. Нами определен биохимический потенциал почв по активности ферментов каталазы, уреазы и протезы (табл. 2).

Каталазная активность характеризуется значительными различиями в профиле почв гарей 1997 г. и 2006 г. Почвы приобского Правобережного бора, распространенные в межгрядных понижениях, имеют высокий биохимический потенциал, в том числе определенный по активности каталазы. Почвы гари 1997 г. Касмалинской и Барнаульской лент ленточного бора низко обеспечены каталазой. Несмотря на временные различия воздействий пожара, напочвенный покров приобского Правобережного бора, пострадавшего от верхового пожара высокой интенсивности, хорошо развит, травянистая формация представлена бобово-злаковым разнотравьем. В то же время напочвенный покров гари 1997 г. в пределах Касмалинской и Барнаульской лент ленточного бора на территории пожара сходной интенсивности изрежен, представлен единичными злаковыми растениями. Уровень каталазной активности косвенно указывает на уровень микробиологической активности, которая во многом определяется количеством поступающих растительных остатков и степенью увлажнения [19].

Уровень уреазной и протеазной активности также различен в пределах разновозрастных гарей. Активность фермента уреазы отражает общий уровень плодородия почв, поскольку этот фермент участвует в азотном обмене почв. В целом дерново-подзолистые почвы Алтайского края характеризуются низким уровнем плодородия и обеспеченности азотом, ферментом уреазой. В почвах гари 1997 г. отмечается характерная закономерность в накоплении уреазы в гумусово-аккумулятивном горизонте, что присуще фоновым дерново-подзолистым почвам. Активность уреазы в почвах гари 2006 г. соответствует таковой фоновых почв.

Обеспеченность почв протеазой отражает их потенциальную возможность разлагать белковые соединения [20]. Для дерново-подзолистых почв

характерен высокий уровень протеазной активности, связанный с особенностями состава растительного опада и состава микрофлоры. Почвы гари 2006 г., распространенные на территории приобского Правобережного бора в лесостепных условиях, через 12 лет после пирогенного воздействия полностью восстановили уровень активности протеазы. Почвы гари 1997 г. не достигли фоновых значений активности протеазы спустя 21 год постпирогенной трансформации почв.

В целом уровень биохимической активности почв указывает на более интенсивное и ускоренное восстановление почвенной биоты в почвах гари 2006 г. в пределах приобского Правобережного бора, чем в почвах гари 1997 г. Касмалинской и Барнаульской лент ленточного бора.

Выводы

Пирогенное воздействие на дерново-подзолистые почвы носит многогранный характер. В результате изучения почв гарей верховых лесных пожаров высокой интенсивности 1997, 2006 и 2010 гг., распространенных в пределах Касмалинской и Барнаульской лент ленточного и приобского Правобережного боров, установлено изменение морфологического строения почвенного профиля, физико-химических свойств и биохимического потенциала. Характер и скорость постпирогенной трансформации дерново-подзолистых почв во многом зависят от климатических условий территории. Почвы гари 2006 г., распространенные в Приобском Правобережном бору восстанавливаются и приобретают типичные свойства эффективнее и быстрее, чем почвы юго-западной части Касмалинской и Барнаульской лент ленточного бора. Это показывают гумусовый профиль, особенности актуальной кислотности почвенных горизонтов и биохимический потенциал.

Исследование выполнено при поддержке РФФИ, грант № 18-04,00866, А и № 18-34-00421, мол_а.

Список литературы

- [1] Завалишин С.И., Карелина В.С. Оценка биохимического потенциала и показателей плодородия дерново-подзолистых почв со вторым гумусовым горизонтом лесостепной зоны Алтайского края // Вестник Алтайского государственного аграрного университета, 2019. № 2 (172). С. 60–66.
- [2] Доржсурэн Ч., Краснощеков Ю.Н. Послепожарные сукцессии в псевдотаежных лиственных лесах Центрального Хангая в Монголии // Хвойные бореальной зоны, 2007. Т. XXIV. № 4–5. С. 391–397.
- [3] Краснощеков Ю.Н. Постпирогенная трансформация почв сосновых лесов в Юго-Западном Прибайкалье // Вестник КрасГАУ, 2009. № 9. С. 60–65.
- [4] Тарасов П.А., Михно А.С., Сизина А.Ф. Оценка пирогенного влияния на почвы ленточных боров Алтайского края // Вестник КрасГАУ, 2011. № 1. С. 26–30.
- [5] Fernández I., Cabaneiro A., Carballas T. Organic matter changes immediately after a wildfire in an Atlantic forest

- soil and comparison with laboratory soil heating // *Soil Biology & Biochemistry*, 1997, v. 29, pp. 1–11.
- [6] Устранение последствий лесных пожаров. Хроника событий: сведения о лесных пожарах в Алтайском крае. URL: <https://www.forestvologda.ru/131> (дата обращения 21.07.2019).
- [7] Трофимов И.Т., Бахарева И.Ю. Особенности послепирогенной трансформации дерново-подзолистых почв западной части ленточных боров Алтайского края // *Вестник АГАУ*, 2007. № 11. С. 31–38.
- [8] Агроклиматические ресурсы Алтайского края (без Горно-Алтайской автономной области). Л.: Гидрометеиздат, 1971. 155 с.
- [9] Маленко А.А. Рост и продуктивность искусственных насаждений в ленточных борах Западной Сибири: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Екатеринбург, 2012. 40 с.
- [10] Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: МГУ, 1970. 488 с.
- [11] Звягинцев Д.Г. Биология почв. М.: МГУ, 2005. 445 с.
- [12] Хазиев Ф.Х. Системно-экологический анализ ферментативной активности почв. М.: Наука, 1982. 204 с.
- [13] Керженцев А.С. Изменчивость почвы в пространстве и во времени. М.: Наука, 1992. 110 с.
- [14] Ulery A.L., Graham R.C., Bowen L.H. Forest fire effects on soil phyllosilicates in California // *Soil Science Society of America J.*, 1996, v. 60, pp. 309–315.
- [15] Бурлакова Л.М., Морковкин Г.Г., Ананьева Ю.С., Завалишин С.И., Каменский В.А. Влияние лесных пожаров на свойства подзолистых почв (на примере Ханты-Мансийского автономного округа) // *Лесной вестник*, 2002. № 2. С. 66–71.
- [16] Burns R.G., DeForest J.L., Marxsen J., Sinsabaugh R.L., Stromberger M.E., Wallenstein M.D., Weintraub M.N., Zoppini A. Soil enzymes in a changing environment: Current knowledge and future directions // *Soil Biol. Biochem.*, 2013, v. 58, pp. 216–234.
- [17] Sgardelis S., Margaris N.S. Effects of fire on soil microarthropods of a phrygic ecosystem // *Pedobiologia*, 1993, v. 37, pp. 83–94.
- [18] Xiang X., Shi Y., Yang J., Kong J., Lin X., Zhang H., Zeng J., Chu H. Rapid recovery of soil bacterial communities after wildfire in a Chinese boreal forest // *Scientific Reports*, 2015, v. 4, article number 3829. URL: <https://doi.org/10.1038/srep03829> (дата обращения 21.07.2019).
- [19] Nannipieri P., Giagnoni L., Renella G., Puglisi E., Ceccati B., Masci-andaro G., Fornasier F., Moscatelli M. C., Marinari S. Soil enzymology: classical and molecular approaches // *Biology and Fertility of Soils*, 2012, v. 44(7), pp. 743–762. DOI 10.1007/s00374-012-0723-0.
- [20] Sinsabaugh R.L. Phenol oxidase, peroxidase and organic matter dynamics of soil // *Soil Biology & Biochemistry*, 2010, v. 42, pp. 391–404.

Сведения об авторах

Завалишин Сергей Иванович — канд. с.-х. наук, доцент Алтайского государственного аграрного университета, serg11zav@mail.ru

Карелина Виктория Сергеевна — аспирант Алтайского государственного аграрного университета, rochva22@mail.ru

Орлов Андрей Владимирович — аспирант Алтайского государственного аграрного университета, orlov1991andrey@yandex.ru

Патрушев Владимир Юрьевич — ведущий экономист управления экономики и развития Алтайского государственного аграрного университета, vvpr0477@yandex.ru

Поступила в редакцию 11.02.2020.

Принята к публикации 15.04.2020.

POST-FIRE TRANSFORMATION OF SOD-PODZOLIC SOILS IN RIBBON PINE FORESTS IN ALTAI TERRITORY

S.I. Zavalishin, V.S. Karelina, A.V. Orlov, V.Yu. Patrushev

Altay State Agrarian University, 98, Krasnoarmeysky pr-t, 656049, Barnaul, Russia

serg11zav@mail.ru

Studies on the post-pyrogenic transformation of sod-podzolic soils were carried out within Kasmala and Barnaul ribbon pine forests, as well as in the right-bank of the Priob pine forest. Soil transects were laid within the section of forest fire within the limits of high forest fires of high intensity in 1997, 2006 and 2010, showing the change in the morphological structure of the soil profile, physical-chemical properties and biochemical potential. The main morphological changes of soils are associated with the loss of structure, destruction of sod and humus-accumulative horizons in pyrogenic impact. With the combination of light particle size distribution, pronounced microrelief and increased deflation in soils of local watersheds, the second humus horizons buried under Eolian sediments are formed. Actual acidity and quasiresonant soil profile of sod-podzolic soils of forest fire 2006 within the Ob pine forests corresponds to a background rate of natural soils. The reaction of the soil solution humus-accumulative horizon of forest fire in 1997 in the ribbon forest corresponds to neutral, in connection with the alkalization of the products of combustion of forest litter, low amount rainfall in a zone of dry steppes does not allow to recover the actual acidity. The biochemical potential of these soils is reduced. It was found that the soils of the Priob pine forest faster and more effectively restore the physical and chemical properties and biochemical potential than the soils of the ribbon forest.

Keywords: pyrogenesis, forest fire, sod-podzolic soils, soil biochemistry

Suggested citation: Zavalishin S.I., Karelina V.S., Orlov A.V., Patrushev V.Yu. *Biokhimičeskij potentsial postpирогенных дерново-подзолистых почв ленточных и приобских боров Алтайского края* [Post-fire transformation of sod-podzolic soils in ribbon pine forests in Altai territory]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 3, pp. 87–93. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-3-87-93

References

- [1] Zavalishin S.I., Karelina V.S. *Otsenka biokhimicheskogo potentsiala i pokazatelei plodorodiya dernovo-podzolistykh pochv so vtorym gumusovym gorizontom lesostepnoi zony Altaiskogo kraya* [Evaluation of the biochemical potential and fertility indicators of sod-podzolic soils with a second humus horizon in the forest-steppe zone of Altai Krai]. *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Altai State Agrarian University], 2019, no. 2 (172), pp. 60–66.
- [2] Dorzhsuren Ch., Krasnoshchekov Yu.N. *Poslepozharnye suksessii v psevdotaezhnykh listvennichnykh lesakh Tsentral'nogo Khangaya v Mongolii* [Post-fire successions in the pseudotaiga larch forests of Central Hangai in Mongolia]. *Khvoynye boreal'noy zony* [Coniferous boreal zones], 2007, t. XXIV, no. 4–5, pp. 391–397.
- [3] Krasnoshchekov Yu.N. *Postpirogennaya transformatsiya pochv sosnovykh lesov v Yugo-Zapadnom Pribaykal'e* [Post-pyrogenic transformation of pine forest soils in the South-Western Baikal region]. *Vestnik KrasGAU*, 2009, no. 9, pp. 60–65.
- [4] Tarasov P.A., Mikhno A.S., Sizina A.F. *Otsenka pirogennogo vliyaniya na pochvy lentochnykh borov Altayskogo kraya* [Evaluation of the pyrogenic effect on the soils of the tape forests of the Altai Territory]. *Vestnik KrasGAU*, 2011, no. 1, pp. 26–30.
- [5] Fernández I., Cabaneiro A., Carballas T. Organic matter changes immediately after a wildfire in an Atlantic forest soil and comparison with laboratory soil heating. *Soil Biology & Biochemistry*, 1997, v. 29, pp. 1–11.
- [6] *Ustranenie posledstviy lesnykh pozharov. Khronika sobyitiy: svedeniya o lesnykh pozharakh v Altayskom krae* [Management of forest fires. Chronicle of events: information about forest fires in the Altai Territory]. Available at: <https://www.forestvologda.ru/131> (accessed 21.07.2019).
- [7] Trofimov I.T., Bakhareva I.Yu. *Osobennosti poslepirogennoy transformatsii dernovo-podzolistykh pochv zapadnoy chasti lentochnykh borov Altayskogo kraya* [Features of post-pyrogenic transformation of sod-podzolic soils of the western part of the tape forests of Altai Krai]. *Vestnik AGAU*, 2007, no. 11, pp. 31–38.
- [8] *Agroklimaticheskie resursy Altayskogo kraya (bez Gorno-Altayskoy avtonomnoy oblasti)* [Agroclimatic resources of the Altai Territory (without the Gorno-Altai Autonomous Region)]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1971, 155 p.
- [9] Malenko A.A. [The growth and productivity of artificial plantings in the tape forests of Western Siberia]. Diss. Dr. Sci. (Agric.). Yekaterinburg, 2012, 40 p.
- [10] Arinushkina E.V. *Rukovodstvo po khimicheskomu analizu pochv* [Chemical soil analysis guide]. Moscow: Moscow State University, 1970, 488 p.
- [11] Zvyagintsev D.G. *Biologiya pochv* [Soil biology]. Moscow: Moscow State University, 2005, 445 p.
- [12] Khaziev F.Kh. *Sistemno-ekologicheskii analiz fermentativnoy aktivnosti pochv* [System-ecological analysis of the enzymatic activity of soils]. Moscow: Nauka, 1982, 204 p.
- [13] Kerzhentsev A.S. *Izmenchivost' pochvy v prostranstve i vo vremeni* [Soil variability in space and time]. Moscow: Nauka, 1992, 110 p.
- [14] Ulery A.L., Graham R.C., Bowen L.H. Forest fire effects on soil phyllosilicates in California // *Soil Science Society of America J.*, 1996, v. 60, pp. 309–315.
- [15] Burlakova L.M., Morkovkin G.G., Anan'eva Yu.S., Zavalishin S.I., Kamenskiy V.A. *Vliyanie lesnykh pozharov na svoystva podzolistykh pochv (na primere Khanty-Mansiyskogo avtomnogo okruga)* [The effect of forest fires on the properties of podzolic soils (on the example of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug)]. *Lesnoy vestnik*, 2002, no. 2, pp. 66–71.
- [16] Burns R.G., DeForest J.L., Marxsen J., Sinsabaugh R.L., Stromberger M.E., Wallenstein M.D., Weintraub M.N., Zoppini A. Soil enzymes in a changing environment: Current knowledge and future directions. *Soil Biol. Biochem.*, 2013, v. 58, pp. 216–234.
- [17] Sgardelis S., Margaris N.S. Effects of fire on soil microarthropods of a phryganic ecosystem. *Pedobiologia*, 1993, v. 37, pp. 83–94.
- [18] Xiang X., Shi Y., Yang J., Kong J., Lin X., Zhang H., Zeng J., Chu H. Rapid recovery of soil bacterial communities after wildfire in a Chinese boreal forest. *Scientific Reports*, 2015, v. 4, article number 3829. URL: <https://doi.org/10.1038/srep03829> (accessed 21.07.2019).
- [19] Nannipieri P., Giagnoni L., Renella G., Puglisi E., Ceccanti B., Masciandaro G., Fornasier F., Moscatelli MC, Marinari S. Soil enzymology: classical and molecular approaches. *Biology and Fertility of Soils*, 2012, v. 448 (7), pp. 743–762. DOI 10.1007 / s00374-012-0723-0.
- [20] Sinsabaugh R.L. Phenol oxidase, peroxidase and organic matter dynamics of soil. *Soil Biology & Biochemistry*, 2010, v. 42, pp. 391–404.

Authors' information

Zavalishin Sergey Ivanovich — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Altai State Agrarian University, serg11zav@mail.ru

Karelina Viktoriya Sergeevna — Pg., Altai State Agrarian University, pochva22@mail.ru

Orlov Andrey Vladimirovich — Pg., Altai State Agrarian University, orlov1991andrey@yandex.ru

Patrushev Vladimir Yur'evich — Leading economist of the Department of economy and development Altai State Agrarian University, vvp0477@yandex.ru

Received 11.02.2020.

Accepted for publication 15.04.2020.

АККУМУЛЯЦИЯ МЕТАЛЛОВ В ХВОЕ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*PINUS SYLVESTRIS* L.), В ПОЧВЕ И СНЕГОВОЙ ВОДЕ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

С.Л. Менщикова, Н.А. Кузьмина, П.Е. Мохначев

ФГБУН «Ботанический сад Уральского отделения РАН» (Лесной отдел), 620144, г. Екатеринбург, ул. Билимбаевская, д. 32а
mssl@botgard.uran.ru

Загрязнение окружающей среды стало одной из важнейших проблем современного мира. Среди факторов, вызывающих загрязнение воздуха, особую роль играют тяжелые металлы. Хотя для растений требуются, как для роста, так и для развития, элементы (такие, например, как магний, железо, калий, кальций и др.) поступающие, напрямую из почвы. Превышенное содержание этих металлов в почве тормозит и блокирует жизненно важные процессы, оказывая токсичное действие на растения. Объектом исследований являются опытные культуры сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в градиенте загрязнения выбросами Саткинского ООО «Группа «Магнезит» (далее по тексту комбинат «Магнезит») на Южном Урале и в фоне на различном удалении от источника выбросов. Установлено, что содержание всех изученных компонентов выбросов в атмосферу варьирует и в почве, и хвое в зависимости от техногенной нагрузки. Химическим анализом почвы и хвои сосны обыкновенной в очаге поражения лесов в районе г. Сатка определено, что по сравнению с фоновыми условиями содержание Mg, Na, K, Fe, Mn и Ca здесь значительно превышено. Кроме того, почва имеет высокие показатели pH — в импактной зоне до 9,0. Приведены данные исследований, проведенных на постоянных опытных участках созданных в 1980-х гг., где возраст культур сосны более 38 лет. В частности металлы, содержащиеся в твердой фракции выбросов, закрепляются в почвенном поглощающем комплексе и имеют тенденцию к биоаккумуляции в ассимиляционных органах древесных видов. Полученные данные можно использовать как для целей диагностики уровня загрязнения лесных биогеоценозов, так и для изучения закономерностей процессов поглощения загрязняющих веществ из атмосферного воздуха в системе почва — растение.

Ключевые слова: хвоя сосны *Pinus sylvestris* L., аэротехногенное загрязнение, металлы в хвое и почве

Ссылка для цитирования: Менщикова С.Л., Кузьмина Н.А., Мохначев П.Е. Аккумуляция металлов в хвое сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), в почве и снеговой воде в условиях техногенного загрязнения // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 3. С. 94–102. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-3-94-102

В связи с быстрым ростом населения земного шара, так же быстро набирает обороты промышленная деятельность и развивается промышленное производство, что неблагоприятно сказывается на окружающей среде. Загрязнение атмосферного воздуха, вызванное этим, достигло критического уровня во многих промышленных регионах, в частности с концентрацией производства черной и цветной металлургии. Сегодня загрязнение воздуха представляет собой глобальную экологическую проблему. Добыча полезных ископаемых и их использование в различных промышленных процессах имеют первостепенное значение. На них приходится большая доля загрязнений, в первую очередь загрязнения воздуха тяжелыми металлами, уровень которых можно определить как прямыми, так и косвенными методами. Использование биоиндикаторов при определении загрязнения воздуха является хорошим методом и дает более надежные данные о периодических изменениях концентраций тяжелых металлов [1–5]. Нами изучены связи содержания металлов в почве и хвое.

Цель работы

Цель работы — изучение особенностей накопления металлов в ассимиляционных органах ле-

сообразующих видов растений на примере сосны обыкновенной, а также в почве в разных зонах воздействия комбината «Магнезит».

Материалы и методы исследования

В условиях современных городов аэротехногенное загрязнение является постоянным экологическим фактором, оказывающим негативное влияние на окружающую среду и здоровье человека. Один из крупнейших очагов уничтожения лесной растительности расположен на Южном Урале в Челябинской области, в г. Сатка, комбинат «Магнезит» (рис. 1, 2). На опытных участках (ОУ), расположенных на разных расстояниях от комбината, рядами были посажены деревья в 1980–1983 гг. работниками Ботанического сада в целях изучения пригодности почв для лесовосстановления в различных зонах загрязнения магнезитовой пылью.

В градиенте загрязнения в направлении преобладающих ветров к северо-востоку и к югу (фон) от источника выбросов в атмосферу на горных почвах расположены следующие участки (рис. 2):

- опытный участок (ОУ-2) на расстоянии 1 км от комбината в зоне сильного воздействия, тип почв — серые лесные;
- опытный участок (ОУ-5) на расстоянии 3 км



Рис. 1. Прилегающие леса комбината «Мagneзит» в зонах сильного ОУ-2 (а) и слабого воздействия ОУ-4 (б)
 Fig. 1. The adjacent forests near the Plant «Magnezit» in zones of strong OU-2 (a) and weak impact OU-4 (b)

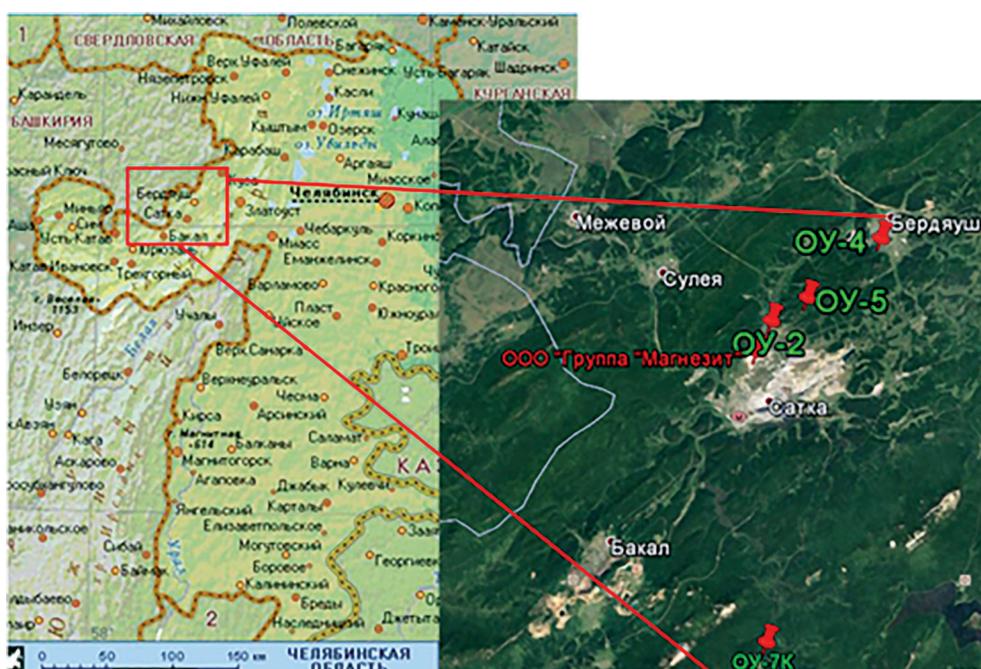


Рис. 2. Расположение опытных участков в районе комбината «Мagneзит»
 Fig. 2. The location of the experimental plots in the area of the Plant «Magnezit»

в зоне среднего воздействия, тип почв — темно-серые лесные;

– опытный участок (ОУ-4) в 10 км в зоне слабого воздействия, тип почв — серые лесные;

– фоновые условия (ОУ-7К) в 25 км к югу от комбината в районе населенного пункта Сибирка, тип почв — буро-таежные (рис. 3).

В 1980–1983 гг. Уральской опытной станцией во время посадки сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L. в почву был внесен торф на ОУ-2 и ОУ-5 слоем 2 см, а на участке в ОУ-4 посадка проведена без внесения мелиорантов. Тип леса на всех опытных участках — сосняк ягодниковый в горно-лесной природной зоне (см. рис. 1, 2).

Комбинат «Мagneзит» осуществляет свою деятельность с 1901 г. Высококарбонатное сырье сжигается таким образом, что сырьевой магне-

зит Сатинской группы месторождений (фракции 0...40 мм) загружается во вращающуюся печь. После сжигания природного магнетита образуется большое количество едкой пыли, которая подвергается повторному сжиганию. При сжигании пыли в атмосферу выбрасывается большое количество дымовых газов, оксида углерода, щелочей, фтора и сернистого ангидрида, оксидов азота и других вредных веществ. В 1963 г. объемы выбросов магнетитовой пыли в атмосферу были максимальными и достигали 182,5...328,5 тыс. т в сутки. В районе непосредственно комбината «Мagneзит» и в радиусе 1,5...2 км лес полностью погиб (см. рис. 1, а). В 1978 г. на заводе были установлены новые электрофильтры, и выбросы пыли снизились до 70...90 т в сутки.



Рис. 3. Карта природных зон и почв района исследования
 Fig. 3. Map of natural zones and soils of the study area

Актуальность биохимических исследований в настоящее время связана с необходимостью понимания экологической ситуации в целом и является неотъемлемой частью изучения естественных и искусственных модифицированных наземных экосистем. Для оценки воздействия источника загрязнения часто используются растительные организмы, в том числе древесные. Сосна обыкновенная зарекомендовала себя как перспективный вид — индикатор аэротехногенного загрязнения [1–6].

Отбор образцов хвои (1–3-го годов жизни) проводили в конце вегетационного периода (в августе) с 15 модельных деревьев из средней части кроны на всех опытных участках. В лабораторных условиях хвою сушили на воздухе, затем измельчали и сжигали в муфельной печи. Химический анализ проводили путем озоления растительного материала и растворения золы по ГОСТ 27995–88 [7]. Почвенные образцы отбирали на всех опытных участках на глубине 0...30 см под каждым модельным деревом. Металлы из почвы экстрагировали ацетатно-аммонийным буферным раствором. С помощью атомно-абсорбционного спектрофотометра пов АА 300 (Analitik Jena, Германия) определяли содержание ионов щелочных и щелочно-земельных металлов в почве и хвое в фильтрате снеговой воды и в выпаренном остатке воды.

Результаты и обсуждение

Химический анализ образцов снега на опытных участках, проведенный нами в динамике за многолетний период с 1983 по 2019 гг., показы-

вает техногенную нагрузку в районе исследований (рис. 4). Показатель кислотности снеговой воды позволяет судить о локальном загрязнении воздушного бассейна: в зоне сильного влияния (1 км) рН снегового фильтрата составляет от 9,1 до 10,4, среднего (3 км) — от 8,9 до 10,1 и слабого (10 км) воздействия — от 7,9 до 9,7, при этом показатель держится в пределах сильнощелочной и слабощелочной реакции. На протяжении 36 лет существенных изменений в снижении рН снегового фильтрата не произошло. Увеличение в сторону щелочной реакции на расстоянии 1...10 км от источника выбросов в атмосферу связано с минерализацией снежного покрова за счет магниевых соединений. Оседающая каустическая магнезитовая пыль имеет рН = 10...11. Показатель кислотности снеговой воды не зависит напрямую от количества выпавшей пыли в течение длительного зимнего периода в данном районе (5–6 мес.). По сравнению с фоновыми условиями (25 км) на 2019 г. разница показателя рН фильтрата в зонах сильного, среднего и слабого воздействия составляет больше в 3,8, 3,3 и 2,5 раза соответственно.

Результаты анализа снеговой воды (пыли, отложившейся на фильтре) на содержание взвешенных веществ за многолетний период свидетельствуют о повышенном выпадении пылевых частиц в 2010 и 2019 гг. вблизи источника выбросов. Скачок в 2019 г. можно объяснить тем, что в 500 м от опытного участка (1 км от комбината) начались работы по добыче магнезитовой руды. Разработка нового карьера и пыление от него спровоцировало скачок взвешенных веществ с 28 до 75 г/м² (рис. 5).

В отходящих дымовых газах содержатся пары щелочей, фтора и сернистого ангидрида, которые концентрируются на дисперсных частицах каустической магнезитовой пыли вследствие их большой удельной поверхности, в зимний период накапливаются в снежном покрове, весной проникают в почву. Атмосферные выбросы изменяют химический состав почвы вблизи комбината. Показатель pH почвы повышается до 8,9. На расстоянии 1...3 км от комбината почвенный покров накапливает больше магния.

Соотношение магния к сумме магния и кальция ($r = 0,92, R^2 = 0,84 F(3; 44) = 89,3$ при $p < 0,0001$) в почве показало достоверные различия на всех исследуемых участках в зависимости с расстоянием от источника загрязнения (рис. 6). В частности, содержание обменного кальция в почве достоверно изменяется ($r = 0,83, R^2 = 0,68 F(3; 44) = 38,1$ при $p < 0,0001$), происходит увеличение в фоновых условиях, тогда как содержание обменного магния достоверно снижается ($r = 0,79, R^2 = 0,62 F(3; 44) = 28,7$ при $p < 0,0001$).

Естественное соотношение между элементами в почвенном поглощающем комплексе было нарушено в 1983 г., затем существенно изменилось в сторону увеличения обменного кальция на фоне высокого содержания магния [8]. Однако экспериментальные наблюдения, проведенные нами в 2018 г., показали превышение содержания магния в соотношении обменных катионов в почве по сравнению с 1983 г. в 2,4 раза.

При высокощелочной актуальной кислотности (pH) почвы ($r = 0,91, R^2 = 0,83 F(3; 44) = 148,9$ при $p = 0,0000$) в зоне сильного воздействия выбросов в атмосферу и высоком содержании обменного магния в почве происходит отрицательное воздействие на рост и развитие растений, нарушается нормальное поступление необходимых питательных веществ. Показатель pH почвы достоверно повышается по сравнению с фоновыми условиями на 2,1 ед. (см. рис. 6).

Поступление элементов в растение происходит через корневую систему. Некоторые авторы считают, что в условиях аэротехногенного загрязнения происходит осаждение пылевых металлосодержащих частиц на листовую пластинку с последующей ионизацией металла под воздействием листовых выделений или атмосферной влаги и поглощением ионов через устьица [9, 10]. Увеличение содержания металлов в хвое происходит как при непосредственном контакте за счет поверхностного загрязнения листовой пластинки (хвои), так и через почву, и корневую систему. Однако информация о поглощении металла через поверхность листовой пластинки растения из атмосферы мало изучена [9, 11]. В зонах токсического влияния загрязнителей растения пытаются

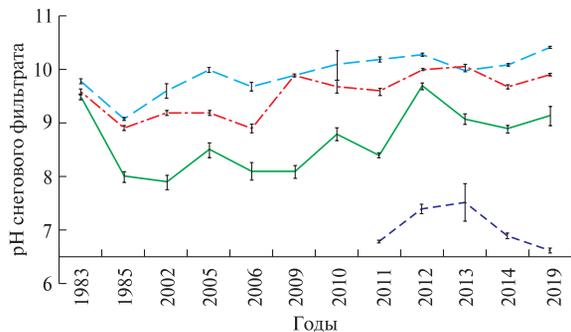


Рис. 4. Изменение показателя кислотности pH снегового фильтрата в динамике на разном удалении от источника выбросов в атмосферу

Fig. 4. The change in the acidity pH of the snow filtrate in dynamics at different distances from the source of emissions into the atmosphere

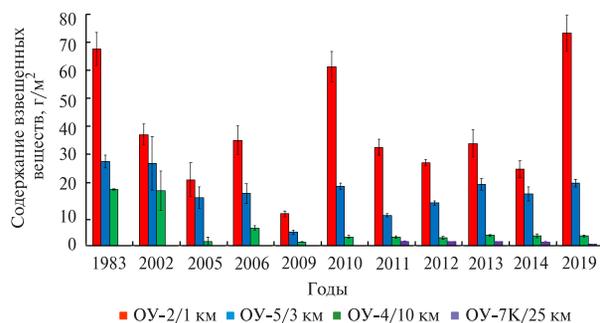


Рис. 5. Изменение содержания взвешенных веществ в снеговой воде с удалением на разные расстояния от комбината «Магнезит» в динамике, г/м³

Fig. 5. Change in the content of suspended solids in snow water with removal at different distances from the Plant «Magnezit» in dynamics, g/m³

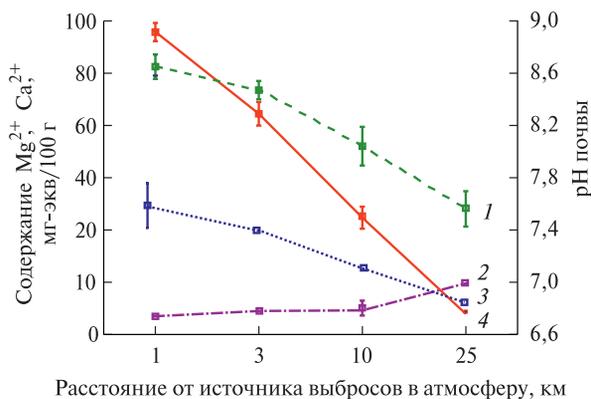


Рис. 6. Изменение содержания обменного кальция и магния, соотношение магния к кальцию в зависимости от удаления комбината «Магнезит» (2018): 1 — Mg²⁺/Mg²⁺+Ca²⁺ (L); 2 — Ca²⁺ (L); 3 — Mg²⁺(L); 4 — pH почвы (R)

Fig. 6. Change of the content of metabolic calcium and magnesium, the ratio of magnesium to calcium, depending on the distance of the Plant «Magnezit», (2018): 1 — Mg²⁺/Mg²⁺+Ca²⁺ (L); 2 — Ca²⁺ (L); 3 — Mg²⁺(L); 4 — soil pH (R)

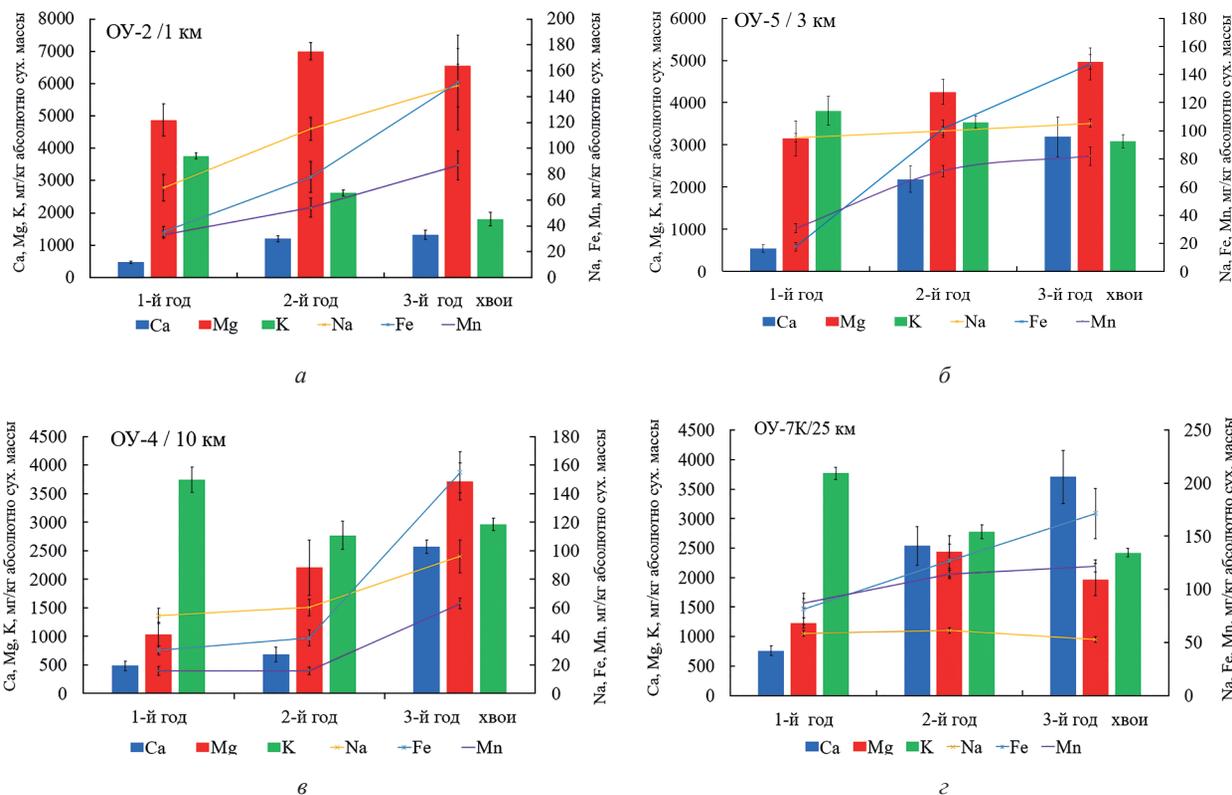


Рис. 7. Концентрация металлов (кальций, магний, калий — ось *Y* — слева; натрий, железо, марганец — ось *Y* — справа) в разновозрастном растительном материале: *a* — зона сильного воздействия; *б* — среднего воздействия; *в* — слабого воздействия; *г* — фоновые условия, мг/кг абсолютно сухой массы

Fig. 7. The concentration of metals (calcium, magnesium, potassium — the *Y* — axis on the left; sodium, iron, manganese — the *Y* — axis on the right) in plants of different ages: *a* — zone of strong; *б* — medium; *в* — weak influence; *г* — background conditions, mg/kg of absolutely dry weight

приспосабливаться, а в растениях и их органах, и органеллах протекают реакции, которые можно характеризовать как адаптация к изменяющимся условиям [12–14].

В условиях аэротехногенных выбросов магнетитового производства основным элементом, концентрирующимся в хвое, является магний (см. рис. 7). Максимальные концентрации в хвое 2-го и 3-го годов жизни в зоне сильного загрязнения составляют 7,0...6,5 г/кг абсолютно сухого вещества соответственно. Сравнивая эти данные с фоновыми, содержание магния вблизи комбината в 2,9–3,3 раза выше, что свидетельствует о результате воздействия аэротехногенного загрязнения. Многие авторы отмечают снижение концентрации магния в хвое на 2-й год жизни [15–17], однако в нашем случае при магнетитовом запылении во всех зонах содержание магния увеличивается с возрастом, кроме хвои 3-го года жизни в фоновых условиях, где определено снижение на 500 мг/кг абсолютно сухого веса.

Анализ содержания калия показал, что возрастная динамика его концентрации в хвое сосен, произрастающих в зоне сильного загрязнения

(OU-2/1 км) и в фоновых условиях (OU-7/25 км) с высокой степенью достоверности снижается ($R^2 = 0,72$ $F(1,34) = 91,1$ при $p < 0,0001$ и $R^2 = 0,70$ $F(1,33) = 77,6$ при $p < 0,0001$ соответственно). Максимальная концентрация калия наблюдаются в хвое 1-го года на всех исследуемых опытных участках.

С увеличением возраста хвои концентрация натрия достоверно возрастает в зоне сильного загрязнения ($R^2 = 0,36$ $F(1,34) = 20,9$ при $p < 0,00006$), а в зоне условного контроля — практически не изменяется ($R^2 = 0,27$ $F(1,34) = 12,8$ при $p < 0,001$). По мере удаления от источника выбросов в одно- и двухлетней хвое уменьшается содержание магния, увеличивается содержание кальция и особенно калия. Данные изменения отмечены также другими авторами при иных типах загрязнения [14, 18, 19].

Концентрация железа в хвое не показала изменений с расстоянием, но изменения прослеживаются с возрастом, чем старше хвоя, тем больше накапливается в ней железа на всех исследуемых участках. Сходные результаты были получены П.Г. Аминовым при изучении влияния на хвою

сосны, произрастающей в пределах Карабашской ГТС [20]. Пониженное содержание марганца и повышенное содержание железа в хвое объясняется как реакция на присутствие поллютантов в растениях [20, 21].

С увеличением возраста хвои в ней повышается содержание карбонатных и оксалатных соединений кальция. Установлено, что по мере старения клеток кальций концентрируется в вакуоле и связывается с элементами клеточных стенок [22]. В зоне сильного аэротехногенного воздействия возрастная динамика содержания кальция в хвое ($R^2 = 0,46$ $F(1,34) = 29,4$ при $p < 0,0000$) отличается от его накопления в фоновых условиях ($R^2 = 0,54$ $F(1,33) = 38,4$ при $p < 0,0000$) в 1,6 раза в 1-й год, 2,1 — во 2-й год и 2,8 — в 3-й год жизни хвои.

Некоторые авторы отмечают, что повышенное содержание кальция в зоне воздействия загрязнения приводит к снижению в хвое концентрации марганца, но способствует накоплению железа [23]. В нашем случае такая закономерность выявлена только в зоне среднего загрязнения на расстоянии 3 км от источника эмиссии $r = -0,68$ при $p < 0,05$, $n = 15$. Железо в хвое накапливается с возрастом на всех опытных участках, что согласуется с данными других авторов [15, 20, 24, 25]. Связь накопления магния и железа в хвое $r \sim 70$ при $p < 0,05$, $n = 15$ выявлена во всех зонах, кроме ОУ-5/3 км.

Выводы

В условиях аэротехногенного загрязнения природной среды отходами магнетитового производства к наиболее отрицательным факторам относятся высокие показатели рН снеговой воды — до 10,2 и почвы — до 8,9 и изменение химизма почв, а также согласно сравнительному анализу, показал изменения содержания металлов и в хвое, и в почве.

В условиях аэротехногенных выбросов в атмосферу магнетитового производства основным элементом, концентрирующимся в хвое и почве, является магний. Его максимальные концентрации в хвое 2-го и 3-го года жизни в зоне сильного загрязнения в 2,9–3,3 раза выше относительно фоновых. В этом заключается отличие закономерностей распределения магния в хвое по годам жизни в данных условиях, от результатов, полученных в условиях других типов загрязнения, где содержание магния убывает с увеличением возраста хвои.

Содержание кальция в хвое повышается с увеличением возраста хвои, однако в отличие от магния с увеличением техногенной нагрузки оно уменьшается в 5 раз по сравнению с фоновыми условиями и содержание обменного кальция в

почве также снижается с увеличением техногенной нагрузки.

Достоверно увеличивается также содержание железа в хвое с увеличением возраста хвои, но в целом с удалением от источника техногенных выбросов в атмосферу содержание железа уменьшается и в хвое, и в почве.

Содержание калия в почве с повышением техногенной нагрузки увеличивается, а в хвое зависит в основном от возраста хвои, а не от техногенной нагрузки.

Содержание натрия в почве практически стабильное и не зависит от техногенной нагрузки, а в хвое увеличивается на 2-м и 3-м годах жизни хвои в условиях сильного загрязнения.

Содержание марганца в хвое уменьшается, а в почве увеличивается с повышением техногенной нагрузки. С увеличением возраста хвои содержание марганца растет во всех зонах загрязнения, и особенно в фоновых условиях.

Работа выполнена в рамках государственного задания Ботанического сада Уральского отделения Российской академии наук.

Список литературы

- [1] Биоиндикация загрязнения наземных экосистем / под ред. Р. Шуберта. М.: Мир, 1988. 350 с.
- [2] Торлопова Н.В., Робакидзе Е.А. Химический состав хвои сосны обыкновенной в условиях аэротехногенного загрязнения Сыктывкарского лесопромышленного комплекса // Сибирский экологический журнал, 2012. №3. С. 415–422.
- [3] Anicic M., Spasic T., Tomasevic M., Rajsic S., Tasic M. Trace Elements Accumulation and Temporal Trends in Leaves of Urban Deciduous Trees *Aesculus hippocastanum* and *Tilia ssp.* // *Ecological Indicators*, 2011, no. 11, pp. 824–830.
- [4] Petrova S., Yurukova L., Velcheva I. Possibilities of using deciduous tree species in trace element biomonitoring in an urban area Plovdiv // *Atmospheric Pollution Research*, 2014, no. 52, pp. 196–202.
- [5] Ярмишко В.Т. Крона дерева как индикатор его состояния в условиях техногенного загрязнения окружающей среды // *Проблемы экологии растительных сообществ Севера*. СПб.: БВМ, 2005. С. 28–57.
- [6] Aricak B., Cetin M., Erdem R., Sevik H., Cometen H. The change of some heavy metal concentrations in Scotch pine (*Pinus sylvestris*) depending on traffic density, organelle and washing // *Applied Ecology and Environmental Research*, 2019a, no. 17(3), pp. 6723–6734.
- [7] ГОСТ 27995–88. Корма растительные. Методы определения. Методы анализа: Сборник ГОСТов. М.: ИПК Издательство стандартов, 1988. 23 с.
- [8] Кузьмина Н.А., Менщиков С.Л. Влияние аэротехногенных выбросов магнетитового производства на химический состав снеговой воды и почвы в динамике // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*, 2015. № 6 (56). С. 192–195.
- [9] Лукина Н.В., Никонов В.В. Поглощение аэротехногенных загрязнителей растениями сосняков на северо-западе Кольского полуострова // *Лесоведение*, 1999. № 6. С. 34–41.

- [10] Титов А.Ф., Таланова В.В., Казнина Н.М., Лайдинен Г.Ф. Устойчивость растений к тяжелым металлам. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. 172 с.
- [11] Turkyilmaz A., Sevik H., Cetin M. Saleh E.A.A. Changing of Heavy Metal Accumulation Dependent on Traffic Density in Some Landscape Plants // Polish J. of Environmental Studies, 2018, no. 27(5), pp. 2277–2284.
- [12] Кулагин А.Ю., Гириятуллин Р.Х., Уразгильдин Р.В. Средообразующая роль лесных насаждений в условиях Стерлитамакского промышленного центра. Уфа: Гилем, 2010. 108 с.
- [13] Биоиндикация: теория, методы, приложения / под ред. Г.С. Розенберга. Тольятти: Российская академия наук, Институт Волжского бассейна, 1994. 266 с.
- [14] Manninen S., Huttunen S., Torvela H. Needle and lichen analyses on two industrial gradients // Water, Air and Soil Pollution, 1991, no. 59, pp. 153–163.
- [15] 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.
- [16] Никонов В. В., Баскова П. А., Сизов И. И. Химический состав сосны на северном пределе распространения (Кольский полуостров) // Дендрологические исследования в Заполярье. Апатиты: КНЦ АН СССР, 1987. С. 62–75.
- [17] Скрипальщикова Л.Н., Днепровский И.А., Стасова В.В., Пляшечник М.А., Грешилова Н.В., Калугина О.В. Морфолого-анатомические особенности хвои сосны обыкновенной под влиянием промышленных выбросов города Красноярск // Сибирский лесной журнал, 2016. № 3. С. 46–56.
- [18] Демаков Ю.П., Сафин М.Г., Винокурова Р.И., Таланцев В.И., Швецов С.М. Хвоя как индикатор состояния сосновых молодняков на олиготрофных болотах // Вестник МарГТУ: Лес. Экология. Природопользование, 2010. № 3. С. 95–107.
- [19] Федорова Н.Н., Сверч А. Влияние аэротехногенного загрязнения отходами цементного производства на элементный состав хвои сосняков свентокшисского воеводства (Польша) // Вестник Санкт-Петербургского университета. Почвоведение, 2004. Сер. 3. Вып. 2. С. 119–123.
- [20] Аминов П.Г. Тяжелые металлы в хвое *Pinus sylvestris* в условиях градиентного аэрального потока загрязняющих веществ медеплавильного производства (Карабашская геотехническая система, Южный Урал) // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского, 2009. № 8. С. 18–25.
- [21] Копылова Л.В. Аккумуляция железа и марганца в листьях древесных растений в техногенных районах Забайкальского края // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Биологические ресурсы: флора, 2010. Т. 12. № 1 (3). С. 709–712.
- [22] Елпатьевский И.В., Аржанова В.С., Власов А.В. Взаимодействие растительности с потоком металлоносных аэрозолей // Миграция загрязняющих веществ в почвах и сопредельных средах. Л.: Гидрометеиздат, 1985. С. 97–100.
- [23] Медведев С.С. Физиология растений. СПб.: БХВ-Петербург, 2012. 512 с.
- [24] Turkyilmaz A., Sevik H., Isinkaralar K., Cetin M Use of tree rings as a bioindicator to observe atmospheric heavy metal deposition // Environmental Science and Pollution Research, 2019, no. 26(5), pp. 5122–5130. DOI: 10.1007/s11356-018-3962-2.
- [25] Shahid M., Dumat C., Khalida S., Schreck E., Xiong T., Nabeel N.K. Foliar heavy metal uptake, toxicity and detoxification in plants: A comparison of foliar and root metal uptake // J. of Hazardous Materials, 2017, no. 325, pp. 36–58.

Сведения об авторах

Менщиков Сергей Леонидович — д-р с.-х. наук, ст. науч. сотр., зав. лабораторией экологии техногенных растительных сообществ, ФГБУН «Ботанический сад Уральского отделения РАН», mssl@botgard.uran.ru

Кузьмина Надежда Александровна — мл. науч. сотр. ФГБУН «Ботанический сад Уральского отделения РАН», yarkaya05@mail.ru

Мохначев Павел Евгеньевич — мл. науч. сотр. ФГБУН «Ботанический сад Уральского отделения РАН», mohnachev74@mail.ru

Поступила в редакцию 18.10.2019.

Принята к публикации 10.02.2020.

ACCUMULATION OF METALS IN PINE (*PINUS SYLVESTRIS* L.) NEEDLES, IN SOIL AND SNOW MELT WATER IN CONDITIONS OF TECHNOGENIC POLLUTION

S.L. Menshchikov, N.A. Kuz'mina, P.E. Mokhnachev

Russian Academy of Sciences, Ural Branch: Institute Botanic Garden, 32 a, Bilimbaevskaya st., 620144, Yekaterinburg, Russia
msl@botgard.uran.ru

Environmental pollution has become one of the most important problems of the modern world. Among the factors causing air pollution, heavy metals play a particular role. Although plants require both for growth and development, the elements (such as, for example, magnesium, iron, potassium, calcium, etc.) come directly from the soil. The excessive content of these metals in the soil inhibits and blocks vital processes, exerting a toxic effect on plants. The object of research is the experimental crops of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in the emission pollution gradient of the Satka PJSC Plant «Magnesit» in the Southern Urals and in the background at different distances from the emission source. It has been established that the content of all the studied components of atmospheric emissions varies both in soil and needles, depending on the man-induced load. By chemical analysis of the soil and pine needles in the forest lesion area in the area of Satka, it was determined that compared to background conditions the contents of Mg, Na, K, Fe, Mn and Ca are significantly exceeded. In addition, the soil has high pH values in the impact zone up to 9.0. The data of studies conducted in permanent experimental plots created in the 1980-s, where the age of pine crops is more than 37 years, are presented. In particular, the metals contained in the solid fraction of emissions are fixed in the soil absorption complex and tend to have a bioaccumulation in the assimilation organs of woody species. The data obtained can be used both for the purpose of diagnosing the pollution level of forest biogeocenoses and for studying the patterns of absorption processes of pollutants from air in the soil — plant system.

Keywords: *Pinus sylvestris* L. pine needles, aerotechnogenic pollution, metals in needles and soil

Suggested citation: Menshchikov S.L., Kuz'mina N.A., Mokhnachev P.E. *Akkumulyatsiya metallov v khvoe sosny obyknovnoy (Pinus sylvestris L.), v pochve i snegovoy vode v usloviyakh tekhnogennoy zagryazneniya* [Accumulation of metals in Pine (*Pinus sylvestris* L.) needles, in soil and snow melt water in conditions of technogenic pollution]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 3, pp. 94–102. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-3-94-102

References

- [1] *Bioindikatsiya zagryazneniya nazemnykh ecosystem.* [Bioindication of pollution of terrestrial ecosystems]. Translation from German. Ed. R. Schubert. Moscow: Mir, 1988, 350 p.
- [2] Torloпова N.V., Robakidze E.A. *Chimicheskii sostav khvoi sosny obyknovnoy v usloviyakh aerotekhnogennoy zagryazneniya Syktyvkar'skogo lesopromyshlennogo kompleksa.* [The chemical composition of pine needles in conditions of aerotechnogenic pollution of the Syktyvkar forestry complex]. *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal* [Siberian Journal of Ecology], 2012, no. 3, pp. 415–422.
- [3] Anicic M., Spasic T., Tomasevic M., Rajsic S., Tasic M. Trace Elements Accumulation and Temporal Trends in Leaves of Urban Deciduous Trees *Aesculus hippocastanum* and *Tilia* ssp. *Ecological Indicators*, 2011, no. 11, pp. 824–830.
- [4] Petrova S., Yurukova L., Velcheva I. Possibilities of using deciduous tree species in trace element biomonitoring in an urban area Plovdiv. *Atmospheric Pollution Research*, 2014, no. 52, pp. 196–202.
- [5] Yarmishko V.T. *Krona dereva kak indikator ego sostoyaniya v usloviyakh tekhnogennoy zagryazneniya okruzhayushchey sredy* [Tree crown as an indicator of its state in the conditions of technogenic pollution of the environment]. *Problemy ekologii rastitel'nykh soobshchestv Severa* [Problems of ecology of plant communities in the North]. St. Petersburg: VVM LLC, 2005, pp. 28–57.
- [6] Aricak B., Cetin M., Erdem R., Sevik H., Cometen H. The change of some heavy metal concentrations in Scotch pine (*Pinus sylvestris*) depending on traffic density, organelle and washing. *Applied Ecology and Environmental Research*, 2019a, no. 17(3), pp. 6723–6734.
- [7] *GOST 27995–88. Korma rastitel'nyye. Metody opredeleniya. Metody analiza: sbornik GOSTov.* [GOST 27995–88. Vegetable feed. Determination methods. Methods of analysis: Collection of GOSTs.]. Moscow: IPK Gosstandar, 1988, 23 p.
- [8] Kuzmina N.A., Menshchikov S.L. *Vliyaniye aerotekhnogennykh vybrosov magnezitovogo proizvodstva na khimicheskii sostav snegovoy vody i pochvy v dinamike.* [The effect of aerotechnogenic emissions of magnesite production on the chemical composition of snow water and soil in dynamics]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Orenburg State Agrarian University], 2015, no. 6 (56), pp. 192–195.
- [9] Lukina N.V., Nikonov V.V. *Poglascheniye aerotekhnogennykh zagryaznitelei rasteniyami sosnyakov na severo-zapade Kol'skogo poluostrava.* [Absorption of aerotechnogenic pollutants by pine plants in the northwest of the Kola Peninsula]. *Lesovedeniye* [Forestry], 1999, no. 6, pp. 34–41.
- [10] Titov A.F., Talanova V.V., Kaznina N.M., Laidinen G.F. *Ustoychivost' rasteniy k tyazhelym metallam* [Plant resistance to heavy metals]. Institute of biology]. Petrozavodsk: Karelian scientific center of the Russian Academy of Sciences, 2007. 172 p.
- [11] Turkyilmaz A., Sevik H., Cetin M., Saleh E.A.A. Changing of Heavy Metal Accumulation Dependent on Traffic Density in Some Landscape Plants/ *Polish J. of Environmental Studies*, 2018, no. 27(5), pp. 2277–2284.
- [12] Kulagin A.Yu., Giniyatullin R.Kh., Urazgildin R.V. *Sredooobrazuyushchaya rol' lesnykh nasazhdeniy v usloviyakh Sterlitomak'skogo promyshlennogo centra.* [The environment-forming role of forest stands in the conditions of the Sterlitamak industrial center]. Ufa: Gilem, 2010, 108 p.

- [13] *Bioindikatsiya: teoriya, metody, prilozheniya*. [Bioindication: theory, methods, applications]. Ed. G.S. Rosenbrnrga. Tolyatti: Russian Academy of Sciences [Volga Basin Institute], 1994, 266 p.
- [14] Manninen S., Huttunen S., Torvela H. Needle and lichen analyses on two industrial gradients/ Water, Air and Soil Pollution, 1991, no. 59, pp. 153–163.
- [15] Kazimirov N.I., Volkov A.D., Zyabchenko S.S., Ivanchikov A.A., Morozova R.M. *Obmen veshchestv I energii v sosnovykh leash Evropeyskogo Severa*. [Metabolism and energy in the pine forests of the European North], Leningrad: Nauka, 1977, 304 p.
- [16] Nikonov, V.V., Baskova P.A., Sizov I.I. *Khimicheskiy sostav sosny nasevernom predele rasprostraneniya (Kol'skiy poluostrov)* [Chemical composition of pine on the northern limit of distribution (Kola Peninsula)]. *Dendrologicheskie issledovaniya v Zapolyar'e* [Dendrological studies in the Arctic]. Apatity: KSC AN USSR, 1987, pp. 62–75.
- [17] Skripalschikova L. N., Dneprovsky I. A., Stasova V. V., Plyashechnik M. A., Greshilova N. V., Kalugina O. V. *Morfologo-anatomicheskie osobnosti hvoi sosny obyknovennoi pod vliyaniem promyshlennykh vybrosov goroda Krasnoyarska*. [Morphological and anatomical features of pine needles under the influence of industrial emissions of the city of Krasnoyarsk]. *Sibirskiy lesnoy zhurnal* [Siberian Forest Journal], 2016, no. 3, pp. 46–56.
- [18] Demakov Yu.P., Safin M.G., Vinokurova R.I., Talantsev V.I., Shvetsov S.M. *Hvoya kak indikator sostoyaniya sosnovykh molodnyakov na oligatrofnykh bolotah* [Needles as an indicator of the state of young pine trees in oligotrophic swamps]. *Vestnik MarGTU: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie* [Vestnik MarSTU: Forest. Ecology. Nature Management], 2010, no. 3, pp. 95–107.
- [19] Fedorova, N. N., Sverch A. *Vliyaniye aerotekhnogenogo zagryazneniya otkhodami* [Influence of aerotechnogenic pollution by cement production waste on the element composition of pine needles in sventokshis Voivodeship (Poland)]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Pochvovedenie* [Vestnik of Saint Petersburg University. Soil science], 2004, ser. 3, v.2, pp. 119–123.
- [20] Aminov P.G. *Tyazhelyye metally d hvoe Pinus sylvestris v usloviyakh gradientnogo aeral'nogo potoka zagryaznyayushchih veshchestv medeplavil'nogo proizvodstva (Karabashskaya geotekhnicheskaya sistema, Yuzhnyi Ural* [Heavy metals in the needles of *Pinus sylvestris* under conditions of a gradient aerial flow of pollutants from copper smelting production (Karabash geotechnical system, Southern Urals)]. *Voprosy sovremennoy nauki i praktiki. Universitet im. V.I. Vernadskogo* [Issues of modern science and practice University named after V.I. Vernadsky]. 2009, no. 8, pp. 18–25.
- [21] Kopylova L.V. *Akkumulyatsiya zheleza i marganza v list'yah drevesnykh rasteniy v tehnogennykh rayonakh zabaykal'skogo kraya*. [Accumulation of iron and manganese in the leaves of woody plants in technogenic regions of the Transbaikal Territory]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk. Biologicheskie resursy: flora* [Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. Biological resources: flora] 2010, v. 12, no. 1 (3), pp. 709–712.
- [22] Elpatievsky I.V., Arzhanova V.S., Vlasov A.V. *Vzaimodeystvie rastitel'nosti s potokom metallonosnykh aerorozley*. [The interaction of vegetation with the flow of metal-bearing aerosols]. *Migratsiya zagryaznyayushchikh veshchestv v pochvakh i sopredel'nykh sredakh* [Migration of pollutants in soils and adjacent environments]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1985, pp. 97–100.
- [23] Medvedev S.S. *Fiziologiya rasteniy*. [Plant physiology]. St. Petersburg: BKhV-Peterburg, 2012, 512 p.
- [24] Turkyilmaz A., Sevik H., Isinkalar K, Cetin M Use of tree rings as a bioindicator to observe atmospheric heavy metal deposition. *Environmental Science and Pollution Research*, 2019, no. 26(5). pp. 5122–5130. DOI: 10.1007/s11356-018-3962-2.
- [25] Shahid M., Dumat C., Khalida S., Schreck E., Xiong T., Nabeel N.K. Foliar heavy metal uptake, toxicity and detoxification in plants: A comparison of foliar and root metal uptake. *J. of Hazardous Materials*, 2017, no. 325, pp. 36–58.

Authors' information

Menshchikov Sergey Leonidovich — Dr. Sci. (Agriculture) Head of Laboratory, Forest Department, Russian Academy of Sciences, Ural Branch: Institute Botanic Garden, msl@botgard.uran.ru

Kuz'mina Nadezhda Aleksandrovna — Junior Researcher, Ecology Laboratory of technogenic plant communities, Forest Department, Russian Academy of Sciences, Ural Branch: Institute Botanic Garden, yarkaya05@mail.ru

Mokhnachev Pavel Evgenievich — Junior Researcher, Ecology Laboratory of technogenic plant communities, Forest Department, Russian Academy of Sciences, Ural Branch: Institute Botanic Garden, mohhnachev74@mail.ru

Received 18.10.2019.

Accepted for publication 10.02.2020.

УДК 630*453

DOI: 10.18698/2542-1468-2020-3-103-108

НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ПОПУЛЯЦИЯМИ ВЕРШИННОГО КОРОЕДА И КОРОЕДА ТИПОГРАФА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФЕРОМОННЫХ ЛОВУШЕК НА ТЕРРИТОРИИ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

А.А. Соболев¹, У.С. Шипинская²

¹ФБУ «Рослесозащита», 141207, Московская обл., г. Пушкино, ул. Надсоновская, д. 13

²МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

aasobolev@live.ru

Приведены данные о развитии популяций *Ips acuminatus* Gyll. и *Ips Typographus* (L.) на европейской части России. Изучена динамика численности вредителей для своевременного выявления увеличения популяций, планирования работ и рекомендаций по защите лесов. Проведены феромонные наблюдения за вершинным короедом и короедом типографом с помощью феромонных ловушек барьерного типа для оценки повреждаемой ими площади в 2020–2021 гг. По результатам наблюдений установлено, что высокая угроза формирования очагов и увеличения численности *Ips acuminatus* существует на территории Брянской, Московской, Воронежской и Смоленской областей, а высокая угроза формирования очагов *Ips Typographus* и усыхания части насаждений ожидается в Московской, Нижегородской, Тверской, Ярославской областях и Республике Татарстан. Высокая численность короедов может привести к формированию куртинного усыхания и в дальнейшем, в случае бездействия — к гибели насаждений. Для своевременного обнаружения и предупреждения распространения вредных организмов следует продолжить наблюдения с использованием феромонных ловушек, проводить лесопатологические обследования, направленные на выявление вредителей, а также профилактические и санитарно-оздоровительные мероприятия.

Ключевые слова: вершинный короед, короед типограф, феромонные ловушки, стволовые вредители, учет насекомых, очаги массового размножения

Ссылка для цитирования: Соболев А.А., Шипинская У.С. Наблюдения за популяциями вершинного короеда и короеда типографа с использованием феромонных ловушек на территории европейской части России // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 3. С. 103–108. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-3-103-108

В 2019 г. ФБУ «Рослесозащита» в рамках Государственного лесопатологического мониторинга проводило наблюдения за популяциями стволовых вредителей с использованием феромонных ловушек, в частности за *Ips acuminatus* Gyll. и *Ips Typographus* (L.) [1]. По предварительным данным, полученным по результатам наблюдений, в некоторых регионах зафиксирована повышенная численность вредителей. Данному обстоятельству способствовала жаркая засушливая погода мая — июня 2019 г., оказавшая благоприятные условия для развития вредителей.

Цель работы

Цель работы — определение угрозы распространения популяций вредителей с помощью феромонных ловушек барьерного типа, своевременное выявление увеличения численности короедов в местах их первичных резерваций и подготовка информации для планирования наземных работ в следующем календарном году.

Методика исследования

Для наблюдений за короедами в комплексе со стандартными способами определения численности вредителей использовались феромонные ловушки. Они представляют собой воронку из пластика диаметром около 30 см, над которой

закреплен барьер в виде крестообразно расположенных пластин размером 30×45 см каждая. Снизу к воронке прикреплен съемный приемник для насекомых — стакан из пластика объемом около 500 мл, на дне которого имеются отверстия для слива дождевой воды. Над воронкой в нижней части барьера крепится диспенсер с феромоном:

- для короеда типографа — «Вертенол»;
- для вершинного короеда — «Ипсвабол-В».

Ловушки размещали в насаждениях, пригодных для развития популяций соответствующего насекомого по единой методике проведения работ [2, 3]:

для вершинного короеда: в сухих сосняках старше 60 лет; насаждения с долей участия главной породы в составе более семи единиц; в лесных массивах I–III классов бонитета и полноты 0,5–0,9;

для короеда типографа: в ельниках умеренной влажности старше 60 лет; насаждения с долей участия главной породы в составе более семи единиц; в лесных массивах I–II бонитета; в лесных насаждениях полноты 0,5–0,9.

Ловушки расположили на расстоянии не ближе 200...300 м друг от друга, повесив их на сучьях усохших деревьев, ветках подлеска (лещины, крушины и т. п.) или на наклонных кольях на высоте 1,3...1,5 м от поверхности земли. Также выдерживалось расстояние 6...8 м от ловушки до неповрежденных деревьев, чтобы запах феромонов не привлекал к ним короедов [2, 3]. Учет «от-

лова» вредителей проводили каждые 5...7 суток. После подсчета пойманных насекомых уничтожали, чтобы предотвратить их повторный учет. При наступлении холодной (ниже +15 °С) и влажной погоды учет проводили один раз в 10...12 суток. Дальнейшее увеличение периодов учета приводит к искажению результатов вследствие загнивания жуков и поедания их мертвоедами.

Угроза возникновения очагов массового размножения *вершинного короеда* оценивалась по количеству отловленных жуков за период май — июнь по критериям оценки результатов феромонных наблюдений [3]:

- до 50 шт. — незначительная;
- 50–100 шт. — слабая/средняя;
- более 100 шт. — средняя/высокая.

Оценка численности *короеда типографа* проводилась согласно методическим указаниям [2]. Угроза возникновения очагов массового размножения оценивалась по количеству отловленных жуков за период май — июнь по критериям оценки результатов феромонных наблюдений:

- до 1500 шт. — незначительная;
- 1500–3000 шт. — слабая/средняя;
- более 3000 шт. — высокая.

Указанные критерии использовались для всех регионов, в которых проводились наблюдения.

Характеристика развития популяции вершинного короеда в 2019 г.

Ips acuminatus Gyll. относится к отряду *Coleoptera* семейству *Scolytidae*. Вершинный короед заселяет сухие проветриваемые изреженные сосновые насаждения. Ареал вредителя в Европе охватывает территории от северной части Испании до Скандинавского п-ова, в Азии — от Сибири до Китая, на востоке встречается в Японии и Корее [4, 5]. К характерным признакам заселения вредителем можно отнести наличие отверстий и буровой муки на стволах деревьев в местах утоньшения коры и на ветвях ослабленных деревьев [6]. Лет жуков происходит в начале мая. При благоприятных погодных условиях в конце лета возможен лет и заселение ими новых деревьев [7, 8]. Зимуют жуки под корой в местах прохождения дополнительного питания. Генерация одногодная, на юге — двойная. В случае формирования благоприятных погодных условий двойную генерацию можно наблюдать и в северных районах [9]. Зарубежные авторы отмечают быстрый подъем численности вредителя после засухи, снижающей защитные свойства деревьев [10]. Кроме того, важным фактором для возникновения угрозы повреждения и гибели деревьев признаны условия места произрастания [11].

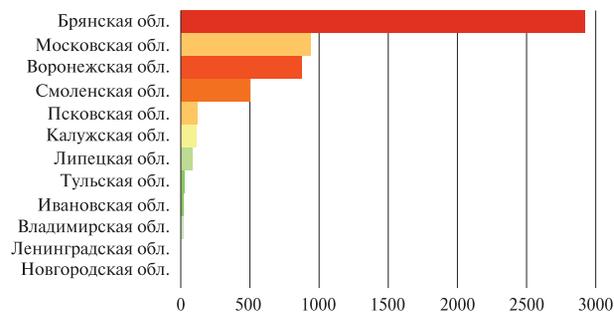


Рис. 1. Максимальное количество отловленных жуков вершинного короеда в одной ловушке, по результатам наблюдений в мае — июне 2019 г.

Fig. 1. The maximum number of bark beetles captured in one trap, according to observations in May — June 2019

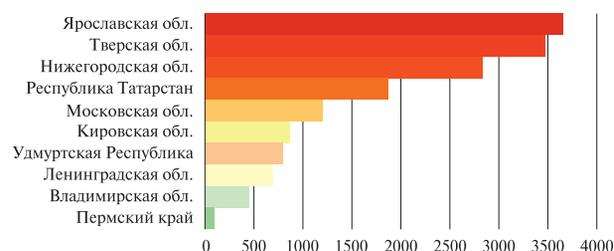


Рис. 2. Максимальное количество отловленных жуков короеда типографа в одной ловушке, по результатам наблюдений в мае — июне 2019 г.

Fig. 2. The maximum number of captured Ips Typographus in a single trap according to observations in May — June 2019

По данным наблюдений за вредителем (рис. 1), высокая угроза формирования очагов их массового размножения зафиксирована в Брянской и Воронежской обл. Средняя численность вредителей варьировала от 67 до 465 шт. на одну ловушку, максимальная зафиксирована в Клинцовском лесничестве Брянской обл. — 2914 шт.

Угроза возникновения очагов вредителя отмечена в Московской и Смоленской областях. Максимальное количество вредителя на одну ловушку составило 930 шт. — в Орехово-зубевском лесничестве (Московская обл.) и 497 шт. — в Шумячском лесничестве (Смоленская обл.).

Низкая угроза возникновения очагов отмечена в Псковской, Липецкой и Калужской областях, где средняя численность вредителя на одну ловушку составила 25–48 шт., а максимальная не превысила 130 шт.

Незначительная численность вредителя установлена в Тульской, Ивановской, Владимирской, Новгородской, Ленинградской областях. В Калининградской, Нижегородской, Кировской, Тверской, Орловской областях и Республике Крым вредитель не выявлен. Несмотря на это, на территории указанных областей возможен рост численности короеда при сохранении благоприятных условий для его развития в следующем году.

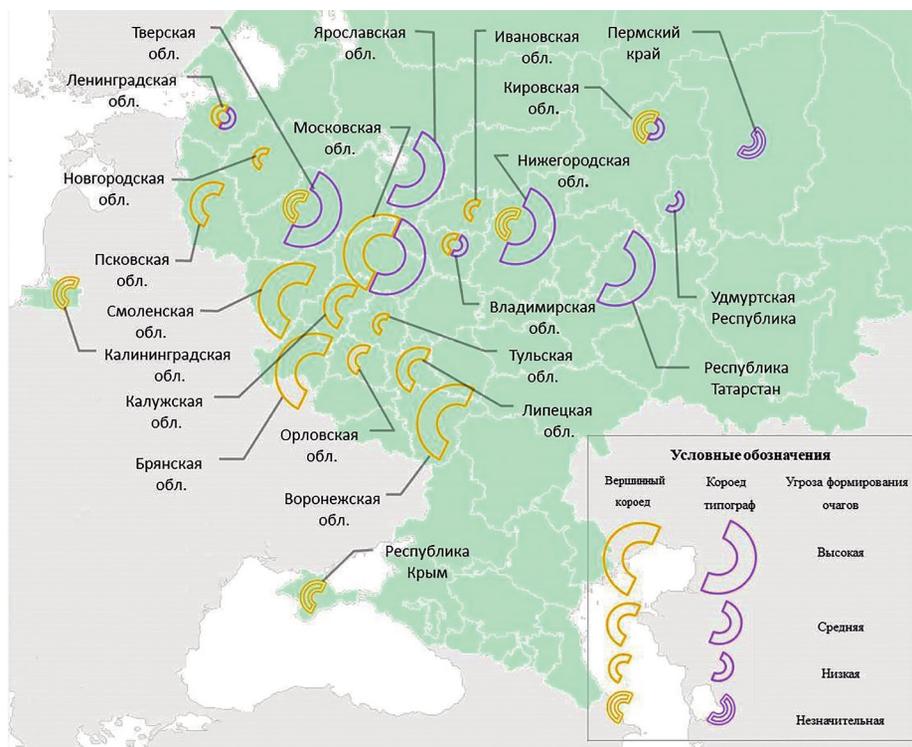


Рис. 3. Угроза формирования очагов массового размножения вершинного короеда и короеда типографа на европейской части России, по данным наблюдений в мае — июне 2019 г.

Fig. 3. The threat of the breeding ground formation of the *Ips acuminatus* and *Ips Tipographus* in the European part of Russia according to observations in May — June 2019

Характеристика развития популяции короеда типографа в 2019 г.

Ips Typographus (L.) также относится к отряду *Coleoptera*, семейству *Scolytidae* [12, 13]. Ареал типографа совпадает с ареалом *Picea abies* (L.). Вредитель встречается в европейской части России, Сибири, на Дальнем Востоке, западе Закавказья. В Европе присутствует повсеместно, где произрастает ель, а также в Боснии и Герцеговине, Грузии, Норвегии, Сербии, Швейцарии, Турции и Украине [14]. Короед типограф заселяет стволы ослабленных деревьев, в местах как тонкой, так и толстой коры начиная с III класса возраста (приспевающие, спелые и перестойные ельники). Очаги короеда развиваются преимущественно на ветровальных и буреломных деревьях. При массовом размножении этот короед способен заселять жизнеспособные деревья без внешних признаков ослабления [6]. Лет жуков начинается в конце апреля — начале мая, когда температура воздуха достигнет +15 °С. Кроме температуры на начало лета типографа указывают фенологические сигналы, такие, как распускание почек березы, рябины, малины, жимолости, красной бузины, цветение кислицы и козьей ивы [15–17]. Развитие потомства в среднем длится 60...70 дней. Для хвойно-широ-

колиственного лесного района, расположенного на Московско-Смоленской возвышенности, в случае становления благоприятных условий в период развития, характерно формирование двух поколений вредителя [18]. Зимовку короед типограф способен проходить на разных фазах развития: молодыми жуками в подстилке, куколками и личинками в стволе заселенного дерева.

По полученным результатам (рис. 2), высокая угроза формирования очагов массового размножения существует в Ярославской и Тверской областях. В период наблюдений (май — июнь) здесь было отловлено в среднем на одну ловушку от 1816 до 2120 шт. Максимальная их численность зафиксирована в Борисоглебском лесничестве Ярославской обл. — 3654 шт. В Тверской обл. максимальное количество на одну ловушку достигло 3482 шт. в Кашинском лесничестве.

Средняя угроза формирования очагов массового размножения короеда типографа выявлена в Нижегородской и Московской областях и Республике Татарстан. В частности, максимальное количество вредителя на одну ловушку отмечено в Тонкинском лесничестве (Нижегородская обл.) — 2824 шт., в Сабинском лесничестве (Республика Татарстан) — 1864 шт., в Московском учебно-опытном лесничестве (Московская обл.) — 1200 шт.

Слабая угроза формирования очагов зафиксирована в Кировской обл., Республике Удмуртия, Ленинградской и Владимирской областях. Численность вредителя в данных регионах не превышала 850 шт. на одну ловушку. Фоновая численность вредителя отмечена в Пермском крае.

Для визуализации результатов наблюдений с использованием феромонных ловушек подготовлена карта-схема (рис. 3), с указанием регионов, в которых проводились работы, а также с прогнозом угрозы формирования очагов массового размножения вредителей.

Следует принять во внимание, что в случае сохранения благоприятных погодных условий в период активного развития насекомых возможно увеличение их численности и формирование очагов массового размножения. В отдельных регионах в 2019 г. наблюдалось куртинное усыхание насаждений. Так, в ходе выполнения лесопатологических обследований, специалисты отметили насаждения, в которых наряду с другими причинами, усыхание возникло и в связи с развитием короеда типографа [19]. В насаждениях сосны на приграничной территории с Республикой Беларусь также зафиксированы усыхания, вызванного вершинным короедом [20].

Выводы

Исходя из полученных результатов наблюдений за популяциями короедов необходимо принять во внимание возможность возникновения новых очагов массового размножения и роста численности вредителей, провоцирующее усыхание отдельных деревьев и ослабленных насаждений. Наибольшему риску заселения вредителями подвержены хвойные леса Ярославской, Тверской, Нижегородской, Брянской, Московской и Воронежской областей. Для своевременного обнаружения и противодействия распространению вредных насекомых следует продолжить наблюдения с использованием феромонных ловушек [21], проводить лесопатологические обследования в лесах, наиболее подверженных заселению стволовыми насекомыми. При выявлении повреждений необходимо оперативно организовать профилактические и санитарно-оздоровительные мероприятия согласно действующим нормативным документам [22].

Список литературы

- [1] Об утверждении Порядка осуществления государственного лесопатологического мониторинга. Приказ Минприроды России от 05.04.2017 N 156. Зарегистрировано в Минюсте России 30.06.2017 N 47257. http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_219272/ (дата обращения 10.10.2019).
- [2] Методические указания ВНИИЛМ Применение феромонов важнейших вредителей леса при ведении лесопатологического мониторинга. Пушкино: ВНИИЛМ, 2013. 36 с.
- [3] Методическое пособие ВНИИЛМ Применение феромонов вершинного и шестизубчатого короедов и черных усачей — соснового и малого елового. Пушкино: ВНИИЛМ, 2014. 24 с.
- [4] Wood S.L., Bright D.E. A catalog of Scolytidae and Platypodidae (Coleoptera), Part 2: Taxonomic index. Great Basin Naturalist Memoirs, 1992, v. 13, pp. 1–1553.
- [5] Bright D., Skidmore R.E. A catalog of Scolytidae and Platypodidae (Coleoptera), Supplement 2 (1995–1999). Ottawa: National Research Council Press, 2002, 523 p.
- [6] Воронцов А.И. Лесная энтомология. М.: Экология, 1995. 352 с.
- [7] Сазонов А.А., Кухта В.Н., Тапчевская В.А. Вспышка массового размножения вершинного короеда (*Ips acuminatus* (Gyllenhal, 1827), Scolytidae, Coleoptera) в лесах Белорусского Полесья // Итоги и перспективы развития энтомологии в Восточной Европе: Сб. статей II Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 6–8 сентября 2017 г. Минск: Издатель А.Н. Вараксин, 2017. С. 366–377. URL: <https://elib.belstu.by/handle/123456789/22583> (дата обращения 10.10.2019).
- [8] Сазонов А.А., Звягинцев В.Б., Кухта В.Н., Тупик П.В. Ведение лесного хозяйства в условиях короедного усыхания сосны. Минск: Белгослес, 2017. 11 с. URL: <https://www.belstu.by/Portals/0/userfiles/332/Prakticheskoe.pdf> (дата обращения 10.10.2019).
- [9] Аверкиев И. С. Атлас вреднейших насекомых леса. М.: Лесная пром-сть, 1984. 72 с.
- [10] Siitonen J. *Ips acuminatus* kills pines in southern Finland // *Silva Fennica*, 2014, vol. 48, no. 4, 7 p. URL: <https://doi.org/10.14214/sf.1145> (дата обращения 10.10.2019).
- [11] Meshkova V.L., Borysenko O.I., Pryhornytskyi V.I. Forest site conditions and other features of Scots pine stands favorable for bark beetles // *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 2018, v. 16, pp. 106–114. URL: <https://doi.org/10.15421/411812> (дата обращения 10.10.2019).
- [12] Старк В.Н. Короеды. Фауна СССР. Жесткокрылые. Т. XXXI. М.-Л.: Изд. АН СССР, 1952. 462 с.
- [13] Ижевский С.С., Никитский Н.Б., Волков О.В., Долгин М.М. Иллюстрированный справочник жуков-ксилофагов — вредителей леса и лесоматериалов Российской Федерации. Тула: Гриф и К, 2005. 220 с.
- [14] Jeger M, Bragard C, Caffier D, Candresse T, Dehnen-Schmutz K, Gilioli G, Gregoire J-C., Anton J., Miret J., Macleod A, Navajas M, Niere B, Parnell S, Potting R, Raffoss T, Rossi V, Urek G, Van Bruggen A, Van der Werf W, West J, Chatzivassiliou E, Winter S, Catara A., Duran-Vila N., Hollo G., Candresse T. SCIENTIFIC OPINION Pest categorisation of Satsuma dwarf virus EFSA Panel on Plant Health (PLH), Panel members // *EFSA Journal*, 2017, v. 15(7), 4881 p., pp. 23.
- [15] Васечко Г. И. Биология короедов (Coleoptera, Ipsidae) — вредителей ели и пихты в Карпатах // *Энтомологическое обозрение*, 1971. Т. 50. № 4. С. 750–762.
- [16] Валента В.Т. Применение фенологических индикаторов в изучении стволовых вредителей сосны и ели // *Вопросы индикационной фенологии и фенологического прогнозирования* / ред. В.А. Тавровский. Л.: [б.и.], 1972. С. 27–31.
- [17] Огибин Б.Н. Соотношение полов и размеры жуков молодого поколения при различной плотности поселения *Ips typographus* (Coleoptera, Ipsidae) // *Зоологический журнал*, 1973. Т. 52. Вып. 9. С. 1417–1419.
- [18] Мозолевская Е.Г., Шарпа Т.В., Щербаков Н.М., Липаткин В.А. Короед типограф в лесах НП «Лосинный остров» // *Экологический вестник Московского региона*, 2012. № 3. С. 76–83.
- [19] Воробьева Н. Кто вырубает подмосковные леса?. URL: <https://www.bfm.ru/news/415024> (дата обращения 10.10.2019).

- [20] Управление лесами Брянской обл. URL: <https://bryanskleshoz.ru/news/1031/> (дата обращения 10.10.2019).
- [21] Методы мониторинга вредителей и болезней леса / под ред. В.К. Тузова. М.: ВНИИЛМ, 2004. 200 с.
- [22] Лесной кодекс Российской Федерации от 04.12.2006 N 200-ФЗ (ред. от 27.12.2018) URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64299/ (дата обращения 10.10.2019).

Сведения об авторах

Соболев Алексей Александрович — зам. нач. отдела организации Государственного лесопатологического мониторинга ФБУ «Рослесозащита», aasobolev@live.ru

Шипинская Ульяна Сергеевна — студент кафедры лесоводства, экологии и защиты леса МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, ulanashipinska@mail.ru

Поступила в редакцию 15.10.2019.

Принята к публикации 12.12.2019.

MONITORING OF *IPS ACUMINATUS* GYLL. AND *IPS TYPOGRAPHUS* L. POPULATIONS BY PHEROMONE TRAPS IN EUROPEAN PART OF RUSSIA

A.A. Sobolev¹, U.S. Shipinskaya²

¹FBU «Russian Forest Protection Center» 13, Nadsonovskaya st., 141207, Pushkino, Moscow reg., Russia

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

aasobolev@live.ru

This article presents a population dynamics of the *Ips acuminatus* Gyll. and *Ips typographus* L. in the European part of Russia. The purpose of this article is to study the pest population dynamics in order to identify its increase in advance, to make forecasts and recommendations for the forest protection. The main research task was to carry out the pheromone monitoring of bark beetles with pheromone traps of barrier type and to predict the damaged area in 2020–2021. In 2019 favourable weather conditions had a positive impact on the growth of bark beetles population. This aspect causes the increase of pest's population in certain regions. Counting of insects was carried out in the forest ranges typical for pest's invasion. It have to be mainly old growth forest with a dominance of fodder breed and also with optimal forest type and tree density. It was observed that the high threat of *Ips acuminatus* outbreak areas formation and population increase exists in the territory of the Bryansk, Moscow, Voronezh, Smolensk regions. The high threat of *Ips Typographus* outbreak areas formation and dieback of plantings is expected in the Moscow, Nizhny Novgorod, Tver, Yaroslavl regions, the Republic of Tatarstan. The high bark beetle population can lead the progress of a diffuse drying and further dying of forests in case of an inaction. It is necessary to continue observations with the usage of the pheromone traps for timely detection and prevention of plant pests distribution. And it is also important to carry out the forest pathology researches, preventive measures and sanitary actions.

Keywords: *Ips acuminatus*, *Ips Typographus*, pheromone traps, Scolytidae, insect census, focus of mass reproduction of pests

Suggested citation: Sobolev A.A., Shipinskaya U.S. *Nablyudeniya za populyatsiyami vershinnogo koroeda i koroeda tipografa s ispol'zovaniem feromonnykh lovushek na territorii evropeyskoy chasti Rossii* [Monitoring of *Ips Acuminatus* Gyll. and *Ips Typographus* L. populations by pheromone traps in european part of Russia]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 3, pp. 103–108. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-3-103-108

References

- [1] *Ob utverzhdenii Poryadka osushchestvleniya gosudarstvennogo lesopatologicheskogo monitoringa. Prikaz Minprirody Rossii ot 05.04.2017 N 156. Zaregistrirvano v Minyuste Rossii 30.06.2017 N 47257* [On approval of the Procedure for implementing state forest pathological monitoring. Order of the Ministry of Natural Resources of Russia dated 05.04.2017 N 156. Registered in the Ministry of Justice of Russia 06.30.2017 N 47257]. Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_219272/ (accessed 10.10.2019).
- [2] Maslov A.D. *Metodicheskie ukazaniya VNIILM Primenenie feromonov vazhneyshih vreditel'ey lesa pri vedenii lesopatologicheskogo monitoringa* [Methodical instructions VNIILM The use of pheromones major forest pests in the management of forest pathology monitoring]. Pushkino: VNIILM, 2013, 36 p.
- [3] *Metodicheskoe posobie VNIILM Primenenie feromonov vershinnogo i shestizubchatogo koroedov i chernykh usachey — sosnovogo i malogo elovogo* [Methodical manual VNIILM The use of pheromones of the *Ips acuminatus* and *Ips sexdentatus* and *Monochamus* — *Monochamus gallopovincialis* and *Monochamus sutor*]. Pushkino: VNIILM, 2014, 24 p.
- [4] Wood S.L., Bright D.E. A catalog of Scolytidae and Platypodidae (Coleoptera), Part 2: Taxonomic index. *Great Basin Naturalist Memoirs*, 1992, v. 13, pp. 1–1553.
- [5] Bright D., Skidmore R.E. A catalog of Scolytidae and Platypodidae (Coleoptera), Supplement 2 (1995–1999). Ottawa: National Research Council Press, 2002, 523 p.
- [6] Voroncov A.I. *Lesnaya entomologiya* [Forest entomology]. Moscow: Ekologiya, 1995, 352 p.

- [7] Sazonov A.A., Kukhta V.N., Tapchevskaya V.A. *Vspyshka massovogo razmnozheniya vershinnogo koroeda (Ips acuminatus (Gyllenhal, 1827), Scolytidae, Coleoptera) v lesakh Belorusskogo Poles'ya* [Outbreak of mass propagation of apical bark beetle (*Ips acuminatus* (Gyllenhal, 1827), Scolytidae, Coleoptera) in the forests of Belarusian Polesye]. Itogi i perspektivy razvitiya entomologii v Vostochnoy Evrope: Sbornik statey II Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Results and prospects for the development of entomology in Eastern Europe: a collection of articles of the II International Scientific and Practical Conference], Minsk, 6–8 sentyabrya 2017 g. Minsk: Izdatel A.N. Varaksin, 2017, pp. 366–377. Available at: <https://elib.belstu.by/handle/123456789/22583> (accessed 10.10.2019).
- [8] Sazonov A.A., Zvyagintsev V.B., Kukhta V.N., Tupik P.V. *Vedenie lesnogo khozyaystva v usloviyakh koroednogo usykhaniya sosny* [Forest management in conditions of bark drying of pine] Minsk: Belgosles, 2017, 11 p. Available at: <https://www.belstu.by/Portals/0/userfiles/332/Prakticheskoe.pdf> (accessed 10.10.2019).
- [9] Averkiev I.S. *Atlas vredneyshih nasekomyh lesa* [Atlas of harmful forest insects]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forest industry], 1984, 72 p.
- [10] Siitonen J. *Ips acuminatus* kills pines in southern Finland. *Silva Fennica*, 2014, vol. 48, no. 4, 7 p. URL: <https://doi.org/10.14214/sf.1145> (accessed 10.10.2019).
- [11] Meshkova V.L., Borysenko O.I., Pryhornytskyi V.I. Forest site conditions and other features of Scots pine stands favorable for bark beetles // Наукові праці Лісівничої академії наук України, 2018, v. 16, pp. 106–114. URL: <https://doi.org/10.15421/411812> (accessed 10.10.2019).
- [12] Stark V.N. *Koroedy. Fauna SSSR. Zhestkokrylye* [Bark beetles. Fauna of the USSR. Coleoptera]. T. XXXI. M.-L.: Izd. AN SSSR, 1952, 462 p.
- [13] Izhevskiy S.S., Nikitskiy N.B., Volkov O.V., Dolgin M.M. *Ilyustrirovannyi spravochnik zhukov-ksilofagov — vreditel' lesa i lesomaterialov Rossiyskoy Federatsii* [The illustrated reference book of xylophagous beetles — pests of the forest and timber of the Russian Federation]. Tula: Grif i K, 2005, 220 p.
- [14] Jeger M, Bragard C, Caffier D, Candresse T, Dehnen-Schmutz K, Gilioli G, Gregoire J-C., Anton J., Miret J., Macleod A, Navajas M, Niere B, Parnell S, Potting R, Rafoss T, Rossi V, Urek G, Van Bruggen A, Van der Werf W, West J, Chatzivassiliou E, Winter S, Catara A., Duran-Vila N., Hollo G., Candresse T. SCIENTIFIC OPINION Pest categorisation of Satsuma dwarf virus EFSA Panel on Plant Health (PLH), Panel members. *EFSA Journal*, 2017, v. 15(7), 4881 p., pp. 23.
- [15] Vasechko G. I. *Biologiya koroedov (Coleoptera, Ipsidae) — vreditel' eli i pihty v Karpatah* [Biology of bark beetles (Coleoptera, Ipsidae) — pests of spruce and fir in the Carpathians]. *Entomologich. obozr.* [Entomological review], 1971, t. 50, no. 4, pp. 750–762.
- [16] Valenta V.T. *Primenenie fenologicheskikh indikatorov v izuchenii stvolovykh vreditel' sosny i eli* [The use of phenological indicators in the study of stem pests of pine and spruce]. *Voprosy indikatsionnoy fenologii i fenologicheskogo prognozirovaniya [Problems of Indicator and phenology phenological forecasting]*. Leningrad, 1972, pp. 27–31.
- [17] Ogibin B.N. *Sootnoshenie polov i razmery zhukov mladogo pokoleniya pri razlichnoy plotnosti poseleniya Ips typographus (Coleoptera, Ipsidae)* [Sex ratio and size of young beetles at different densities of the settlement *Ips typographus* (Coleoptera, Ipsidae)]. *Zoologich. zhurn* [Zoological magazine], 1973, t. 52, v. 9, pp. 1417–1419.
- [18] Mozolevskaya E.G., Sharapa T.V., Shcherbakov N.M., Lipatkin V.A. *Koroed tipograf v lesakh NP «Losinyy ostrov»* [Bark beetle typographer in the forests of the Elk Island island] *Ekologicheskii vestnik Moskovskogo regiona* [Ecological Bulletin of the Moscow Region], 2012, no. 3, pp. 76–83.
- [19] Vorobyova N. *Kto vyrubaet podmoskovnye lesa?* [Who cuts down forests near Moscow?]. Available at: <https://www.bfm.ru/news/415024> (accessed 10.10.2019).
- [20] *Upravlenie lesami Bryanskoy oblasti* [Forest management in the Bryansk region]. Available at: <https://bryanskleshoz.ru/news/1031/> (accessed 10.10.2019).
- [21] *Metody monitoringa vreditel' i bolezney lesa* [Methods of monitoring forest pests and diseases]. Ed. V.K. Tuzov. Moscow: VNIILM, 2004, 200 p.
- [22] *Lesnoy kodeks RF ot 04.12.2006 № 200-FZ* [Forest Code of the Russian Federation of 04.12.2006 no. 200-FZ]. Red. 27.12.2017 N 471-FZ]. Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64299/ (accessed 10.10.2019).

Authors' information

Sobolev Aleksey Aleksandrovich — Deputy Head of the Department of State Forest Pathology Monitoring FBU «Russian Centre of Forest Health», aasobolev@live.ru

Shipinskaya Ulyana Sergeevna — student of the BMSTU (Mytishchi branch), ylanashipinska@mail.ru

Received 15.10.2019.

Accepted for publication 12.12.2019.

МЕЖМУНИЦИПАЛЬНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО В ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ КАК ФАКТОР ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО СУБРЕГИОНА РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН

Э.Р. Мамлеева, М.Ю. Сазыкина, Н.В. Трофимова

ГАНУ Институт стратегических исследований Республики Башкортостан, 450000, г. Уфа, ул. Кирова, д. 15

mamleevaer@isi-rb.ru

Рассмотрены проблемы развития межмуниципального сотрудничества на региональном уровне в сфере лесопромышленного комплекса на современном этапе. Впервые поднят вопрос о необходимости налаживания межмуниципальных связей в лесопромышленной промышленности в северо-восточных муниципальных районах Республики Башкортостан. Предложен проект создания лесозаготовительных центров, которые могут быть созданы на принципах муниципально-частного партнерства. Для решения промышленной переработки леса в связи с большой долей некондиционного, перестойного и мягколиственного леса предложено производство биотоплива (древесного угля и пеллет). В целях лесовосстановления наряду с увеличением площади лесных питомников перспективными направлениями развития лесопромышленного комплекса определены лесоплантационное выращивание, создание индустриального лесопромышленного парка, что позволит за счет системного использования принципов проектного управления и государственно-частного партнерства успешно реализовать поставленные задачи по увеличению использования расчетной лесосеки и эффективного использования низкосортной древесины. Следует отметить, что решение этих вопросов невозможно без системной государственной поддержки.

Ключевые слова: лесопромышленный комплекс, муниципальный район, межмуниципальное сотрудничество

Ссылка для цитирования: Мамлеева Э.Р., Сазыкина М.Ю., Трофимова Н.В. Межмуниципальное сотрудничество в лесопромышленном комплексе как фактор экономического развития северо-восточного субрегиона Республики Башкортостан // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 3. С. 109–116.

DOI: 10.18698/2542-1468-2020-3-109-116

Лесные ресурсы имеют стратегическое значение как для Республики Башкортостан в целом, так и для ее муниципальных районов. Лесной фонд Республики Башкортостан (РБ), составляет около 40 % всей ее территории. При этом доля продукции лесопромышленного комплекса (ЛПК) в структуре промышленного производства составляет немногим более 1,6 % [1]. Таким образом, вклад лесопромышленной отрасли в валовой региональный продукт значительно ниже имеющегося потенциала.

По данным государственного лесного реестра, площадь лесов РБ составляет 6304,4 тыс. га или 44,1 % земельного фонда. Лесные земли занимают 92,38 % общей площади лесов. Общий запас древесины в лесах — 760,4 млн м³, из которых более половины (52,63 %) приходится на спелые и перестойные насаждения [2].

Для РБ характерна неравномерность распределения лесного фонда по экономическим подрайонам. Лесистость изменяется от 6–10 % в юго-западных районах до 60–90 % в восточных и северо-восточных. При этом, несмотря на наличие существенных земельных и лесных ресурсов, северо-восточные муниципальные районы РБ отстают по показателям социально-экономического развития от среднереспубликанского уровня.

Цель работы

Цель работы — изучение проблем развития межмуниципального сотрудничества на региональном уровне в сфере ЛПК на современном этапе.

Материалы и методы исследования

Северо-восточные районы РБ обладают значительными лесными ресурсами. Площадь лесов здесь составляет 22,4 % от общереспубликанского уровня [3]. Рассмотрим структуру лесобразующих пород (табл. 1).

Основу лесных насаждений составляют мягколиственные породы — 79,2 %, на хвойные породы приходится лишь 19,4 % лесов. В последние годы отмечается сокращение запаса хвойных пород и накопление мягколиственных пород, а также низкопродуктивных хвойных пород, что свидетельствует о необходимости расширения масштабов лесовосстановления и ухода за молодняками.

Для ЛПК РБ основой развития являются предприятия малого и среднего бизнеса, в частности в северо-восточных районах республики. Малое и среднее предпринимательство решает задачи трудоустройства населения, участвует в улучшении состояния лесов, повышении его защитных свойств, снижении пожарной опасности. Терри-

Т а б л и ц а 1

**Основные лесообразующие породы северо-восточных районов
Республики Башкортостан (тыс. га) [4]**

The main forest-forming species of the north-eastern regions of the Republic of Bashkortostan (thousand ha) [4]

Район	Площадь леса	Хвойные	Твердолиственные	Мягколиственные	Другие породы
Аскинский	211,4	60,7	5,4	127,9	17,1
Белокатайский	149,7	29,3	0,48	164,8	30,3
Дуванский	191,8	44,9	0,68	128,2	20,3
Караидельский	235,1	45,1	4,0	162,5	23,5
Кигинский	168,8	36,6	0,42	115,8	23,1
Мечетлинский	31,2	1,1	0,44	28,9	1,1
Нуримановский	210,9	30,9	6,35	158,3	15,4
Салаватский	101,1	14,5	1,21	78,8	6,9
Итого	1354,7	263,1	18,63	1073	137,7
Доля северо-восточного региона в РБ, %	22,4	19	21,2	86,5	16,1

Т а б л и ц а 2

**Количественный состав предприятий по виду экономической деятельности
«Лесоводство и лесозаготовки» в муниципальных образованиях северо-восточного
субрегиона Республики Башкортостан [2]**

The quantitative composition of enterprises by type of economic activity «Forestry and logging»
in municipalities of the north-eastern subregion of the Republic of Bashkortostan [2]

Муниципальное образование	Число предприятий, ед.					
	крупные	средние и малые		всего	в том числе	
		всего	в том числе микропредприятия		юридические лица	индивидуальные предприниматели
Аскинский р-н	–	9	9	9	–	9
Белокатайский р-н	–	15	14	15	2	13
Дуванский р-н	–	5	5	5	–	5
Караидельский р-н	1	29	27	30	9	21
Кигинский р-н	–	6	6	6	5	1
Мечетлинский р-н	–	3	3	3	–	3
Нуримановский р-н	–	4	4	4	2	2
Салаватский р-н	–	2	2	2	1	1
Всего по северо-востоку	1	73	70	74	19	55
Всего по республике	1	350	342	351	118	233

ториальная расположенность субъектов малого и среднего предпринимательства (преимущественно в сельской местности) превращает его в стратегический ресурс ЛПК [5]. Проанализируем количественный состав предприятий по видам экономической деятельности (табл. 2).

Из табл. 2 следует, что по указанному виду экономической деятельности основная часть предприятий этого субрегиона относится к микропредприятиям (95 %), а ведущей организационно-правовой формой является индивидуальное предпринимательство (74,3 %), при этом 40 % предприятий зарегистрировано в Караидельском муниципальном районе.

По виду экономической деятельности «Обработка древесины и производство изделий из дерева» в субрегионе отсутствуют крупные предприятия, средние и малые предприятия представлены микропредприятиями, из которых лишь одна пятая часть представлена юридическими лицами, и 78,9 % — индивидуальными предпринимателями (табл. 3).

Вид экономической деятельности «Производство целлюлозы, древесной массы, бумаги, картона и изделий из них» на северо-востоке республики не представлен.

Следует обратить внимание на то, что ЛПК в северо-восточном субрегионе РБ представлен в

Т а б л и ц а 3

**Количественный состав предприятий по виду экономической деятельности
«Обработка древесины и производство изделий из дерева» в муниципальных
образованиях северо-восточного субрегиона Республики Башкортостан [2]**

**The quantitative composition of enterprises by type of economic activity «Wood processing
and production of wood products» in municipalities
of the north-eastern subregion of the Republic of Bashkortostan [2]**

Муниципальное образование	Число предприятий, ед.					
	крупные	средние и малые		всего	в том числе	
		всего	в том числе микропредприятия		юридические лица	индивидуальные предприниматели
Аскинский р-н	–	13	13	13	2	11
Белокатайский р-н	–	4	4	4	–	4
Дуванский р-н	–	15	15	15	6	9
Караидельский р-н	–	20	20	20	1	19
Кигинский р-н	–	5	5	5	2	3
Мечетлинский р-н	–	5	5	5	2	3
Нуримановский р-н	–	10	10	10	2	8
Салаватский р-н	–	4	4	4	1	3
Всего по северо-востоку	–	76	76	76	16	60
Всего по республике	7	819	798	826	293	533

основном субъектами малого и среднего бизнеса, в то время как в целом по республике значительно ниже и изменяется от 17,9 % («Обработка древесины и производство изделий из дерева») до 36,6 % («Целлюлозно-бумажное производство, издательская и полиграфическая деятельность»).

Отметим, что в северо-восточном субрегионе преобладает производство простейших пиломатериалов. При этом показатель эффективности использования сырья — производство товарной продукции на 1 м³ потребленной древесины в 2–2,5 раза ниже среднереспубликанского уровня.

Стабильность количества субъектов малого и среднего предпринимательства на рынке в определенной степени обусловлена небольшой емкостью рынка и, как следствие, отсутствием экономической привлекательности данного сегмента рынка для крупных игроков.

Однако несмотря на относительно устойчивую ситуацию на рынке субъекты малого и среднего бизнеса в ЛПК РБ сталкиваются с проблемами, которые можно подразделить на две группы проблем: носящие общероссийский межотраслевой характер, и проблемы, имеющие отраслевую специфику.

К первым относят следующие проблемы [6–8]:

- низкий инвестиционный потенциал: недостаточность начального капитала и собственных оборотных средств, сложность привлечения заемных средств и высокие ставки кредитования;
- нехватка квалифицированных кадров;
- высокий уровень предпринимательского риска;
- несовершенство законодательной базы.

Среди проблем, имеющих отраслевую специфику выделяют такие:

- недостаточное развитие лесной инфраструктуры;
- незначительный объем финансирования муниципальных программ поддержки малого и среднего предпринимательства;
- крупные компании отрасли (такие, как ООО «Кроношпан»), игнорирующие интересы субъектов малого и среднего предпринимательства, занятых в лесной отрасли.

При условии поддержки со стороны муниципалитетов и региональных властей, а также развитии межмуниципальных проектов малые и средние предприятия могут стать точкой роста северо-восточного субрегиона в таких направлениях как, следующие:

- расширение переработки неиспользуемых или нерационально используемых древесных ресурсов (производство древесного угля);
- стимулирование развития малых форм хозяйствования;
- развитие смежных отраслей, связанных с использованием лесных ресурсов, таких как производство декоративных изделий и сувенирной продукции.

Выводы

Отсутствие системы организации работ по лесоустройству и лесовосстановлению, адекватной имеющемуся лесоресурсному потенциалу, выражается в низком уровне освоения расчетной лесосеки и приводит к потерям значительных

запасов низкотоварной, перестойной, мягколиственной древесины, не дошедших до промышленной переработки.

Как одно из направлений развития ЛПК в субрегионе предлагается усиление его межмуниципальной кооперации комплекса [9].

Усиление кооперации в отрасли предполагает создание нормативных и организационных условий для повышения эффективности деятельности участников в сфере лесозаготовки. Одним из способов кооперации участников могут стать лесозаготовительные центры, создаваемые на принципах частной кооперации либо государственно-частного или муниципально-частного партнерства. Это повысит ответственность участников рынка за осваиваемые лесные участки, обеспечит их мотивацию к бережному природопользованию [10, 11].

Промышленную переработку леса на северо-востоке РБ в связи с большой долей некондиционного, перестойного и мягколиственного леса возможно в среднесрочной перспективе осуществлять в направлении производства биотоплива (древесного угля и пеллет), постепенно замещая структуру леса хвойными породами [12–15].

Предпосылками производства топлива на основе древесных отходов являются следующие:

- большой объем низкокачественной древесины (до 85 % в северо-восточном субрегионе);
- высокий спрос в данном виде топлива в России и за рубежом;
- низкий уровень газификации северо-восточных районов РБ.

К преимуществам использования данного вида топлива можно отнести такие:

- экологичность;
- высокую теплотворную способность;
- безопасность в использовании и хранении;
- возможность применения для отопления жилых домов и промышленных предприятий.

В целях диверсификации и развития обработки древесины рекомендуется создание мелкосерийных производств по изготовлению из массива древесины популярных товаров повседневного спроса, таких, как стройматериалы — клееный брус, двери, мебельные щиты, столешницы, ульи; кухонная утварь — разделочные доски, емкости для хранения продуктов и др. К перспективным направлениям относят и художественную обработку дерева, продукция которой может быть использована для дизайна территории геопарка «Янган-Тау», а также как сувениры туристам.

Для лесовосстановления наряду с увеличением площади лесных питомников перспективно создание плантаций лесных культур с ориентацией процесса лесовыращивания на получение целевых видов древостоев определенного ка-

чества, который позволит обеспечить местных лесопереработчиков качественным древесным сырьем с хорошей транспортной доступностью.

Мировая практика показывает, что одним из эффективных путей решения лесосырьевой проблемы признано ускоренное выращивание древесины на специальных целевых плантациях [16]:

К преимуществам лесоплантационного выращивания относят следующие:

- оптимальное размещение быстрорастущих пород на участке высаживаемых деревьев;
- использование лесных плантаций для защиты от эрозии, восстановления почвенного плодородия;
- достижение высокой производительности древостоев за счет интенсивного режима выращивания;
- экологичность лесных плантаций с оборотом рубки 30 лет и более, характерная для естественных лесов.

Реализация данного направления позволит в долгосрочной перспективе (20–50 лет) увеличить объем заготовки и поставки качественной древесины хвойных пород на деревообрабатывающие предприятия РБ, а также изменить структуру лесных ресурсов в пользу деловой древесины.

Перспективным направлением развития ЛПК может стать также создание индустриального лесопромышленного парка, что позволит за счет системного использования принципов проектного управления, и государственно-частного партнерства успешно реализовать поставленные перед ЛПК РБ задачи:

- по увеличению использования расчетной лесосеки;
- по эффективному использованию низкосортной древесины.

Международный опыт свидетельствует о том, что индустриальные лесопромышленные парки — это эффективный элемент развития отрасли, который позволит улучшить экологию в районе лесозаготовок и повысить занятость населения в высокотехнологичной сфере, придавая дополнительный импульс развитию отрасли [17].

Одним из условий устойчивого развития определена также государственная поддержка при реализации проектов в сфере лесопереработки, мерами которой могут быть следующие [18, 19]:

- информационно-консультационное сопровождение;
- налоговая и имущественная поддержка;
- методическое сопровождение и поддержка;
- финансовые меры (субсидии, грантовая поддержка, лизинг).

Низкая степень кооперации и утрата производственных связей в ЛПК ставят под угрозу его дальнейшее функционирование и развитие [20].

Известно, что муниципальные образования обладают широкими полномочиями в экономике развитых стран. В России межмуниципальное сотрудничество в реальном секторе экономики развивается медленными темпами. В Республике Башкортостан межмуниципальные проекты на современном этапе реализуются в основном в социальной сфере (организация праздников, фестивалей, спортивных соревнований на межмуниципальном уровне).

Укрепление экономического взаимодействия муниципальных районов северо-восточного субрегиона РБ на основе определенной функциональной специализации субъектов, а также формирование синергетических эффектов от совместной реализации межмуниципальных проектов могут стать одной из точек роста для экономики субрегиона.

Статья подготовлена за счет средств Гранта Республики Башкортостан молодым ученым, № 19 ГР

Список литературы

- [1] Социально-экономическое положение муниципальных районов и городских округов Республики Башкортостан: статист. сб. Уфа: Башкортостанстат, 2018. 277 с.
- [2] Стратегия развития лесопромышленного комплекса Республики Башкортостан на срок до 2030 года. URL: <http://docs.cntd.ru/document/550275234> (дата обращения 21.09.2019).
- [3] Инвестиционный портал Республики Башкортостан. URL: <https://investrb.ru/ru/investment/investor/sites/> (дата обращения 19.06.2019).
- [4] О продлении до 2020 года срока реализации Среднесрочной комплексной программы социально-экономического развития северо-восточных районов Республики Башкортостан на 2011–2015 годы (с изменениями на 15 февраля 2019 года) URL: <http://docs.cntd.ru/document/445042874> (дата обращения 21.09.2019).
- [5] Гагауллин Р.Ф. Механизм нивелирования поляризации в развитии разноразмерных территориальных социально-экономических систем // Вестник Евразийской науки, 2019. № 2. С. 17. URL: <https://esj.today/PDF/14ECVN219.pdf> (дата обращения 21.09.2019)
- [6] Моисеев Н.А. О каком прорыве в лесных делах России может и должна бы идти речь? // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2019. Т. 23. № 5. С. 8–15. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-5-8-15
- [7] Моисеев Н.А. Лесная наука и практика в историческом аспекте: состояние и перспективы на примере России // Леса Евразии — Подмосковские вечера: Материалы X Междунар. конф. молодых ученых, посвященной 90-летию со дня основания Московского государственного университета леса и 170-летию со дня рождения профессора М.К. Турского, Москва, 19–25 сентября 2010 г. М.: МГУЛ, 2010. С. 17–31.
- [8] Гнатовская И.В., Гнатовская Т.А. Леса Центрального региона России — проблемы лесопользования // Леса Евразии — Сербские леса: Материалы XVIII Междунар. конф. молодых ученых, посвященной акад. профессору Жарку Милетичу (1891–1968), Белград, 23–29 сентября 2018 г. Белград: Лесной факультет Белградского университета, 2019. С. 110–114. URL: http://lesaevrasi.ru/content/uploads/officialnye-dokumenty/sbornik_le_2018.pdf
- [9] Мамлеева Э.Р., Сазыкина М.Ю., Трофимова Н.В. Межмуниципальное сотрудничество как механизм развития северо-восточных муниципальных районов Республики Башкортостан // Воспроизводственный потенциал региона: проблемы количественных измерений его структурных элементов. Материалы VII Междунар. науч.-практ. конф. БашГУ, Уфа, 7–8 июня 2019 г. / под ред. А.В. Янгирова. Уфа: БашГУ, 2019. 304 с.
- [10] Стратегия социально-экономического развития Кигинского района на период до 2030 года. URL: <https://kigi.bashkortostan.ru/documents/active/172782/> (дата обращения 21.09.2019).
- [11] Вахрушев К.В., Абсалямов Р.Р. Лесной комплекс Удмуртской Республики: состояние, проблемы, перспективы развития лесных отношений // Леса Евразии — леса Поволжья: Материалы XVII Междунар. конф. молодых ученых, посвященной 150-летию со дня рождения профессора Г.Ф. Морозова, 95-летию Казанского государственного аграрного университета и Году экологии в России, Казань, 22–28 октября 2017 г. Казань. М.: ИПЦ «Маска», 2017. С. 34–38.
- [12] Никишов В.Д. Комплексное использование древесины. М.: Лесная пром-сть, 1985. 264 с.
- [13] Семенов М.И. Производство электро- и теплоэнергии из отходов лесозаготовок и деревообработки // Вестник Алтайского государственного аграрного университета, 2014, 7 (117). С. 86–91.
- [14] Бутаков А.И., Семенов М.И. Оценка ресурсов низкокачественной и малоценной древесины, перспективных объемов лесосечных отходов и отходов деревообработки для использования в качестве биотоплива // Леса Евразии — Большой Алтай: Материалы XV Междунар. конф. молодых ученых, посвященной 150-летию со дня рождения профессора Г.Н. Высоцкого, Барнаул, 13–20 сентября 2015 г. М.: МГУЛ, 2015. С. 42–43.
- [15] Квасникова В.В., Герасимова О.О. Маркетинговое исследование конъюнктуры рынка пеллет Республики Беларусь: состояние и перспективы развития // Право. Экономика. Психология, 2019. № 4 (16). С. 42–52.
- [16] Neshataeva E.V., Karjalainen T. Impact of the eu timber regulation on russian companies exporting wood and wood-based products // Resources and Technology, 2015, t. 12, no. 1. С. 37–46.
- [17] Кирушева Н.Ю., Князева Г.А. Роль индустриальных парков лесопромышленной специализации в формировании «зеленой» экономики страны // Корпоративное управление и инновационное развитие экономики Севера: Вестник Научно-исследовательского центра корпоративного права, управления и венчурного инвестирования Сыктывкарского государственного университета, 2016. № 3. С. 49–59. URL: <http://vestnik-ku.ru/images/2016/3/2016-3-6.pdf> (дата обращения 21.09.2019).
- [18] Нуриахметов И.М., Козлова Т.В. Методы оценки инвестиционной привлекательности предприятий лесной отрасли // Экономика и предпринимательство, 2019. № 1 (102). С. 392–394.
- [19] Широкова Е.В. Эколого-экономический анализ состояния лесного фонда и лесопользования в Пензенской области // Нива Поволжья, 2012. № 4 (25). С. 128–133.
- [20] Сабиров Р.И. Интеграция — основа эффективного развития лесопромышленного комплекса Республики Башкортостан // Экономика и управление: науч.-практ. журн., 2015. № 1. С. 80–84.

Сведения об авторах

Мамлеева Эльвира Рашидовна — канд. экон. наук, ст. науч. сотр. Центра исследования территориального развития региона, ГАНУ Институт стратегических исследований Республики Башкортостан, mamleevaer@isi-rb.ru

Сазыкина Марина Юрьевна — канд. экон. наук, ст. науч. сотр. Центра исследования территориального развития региона, ГАНУ Институт стратегических исследований Республики Башкортостан, sazykinamyu@isi-rb.ru

Трофимова Наталья Владимировна — канд. экон. наук, начальник Центра исследования территориального развития региона, ГАНУ Институт стратегических исследований Республики Башкортостан, trofimovanv@isi-rb.ru

Поступила в редакцию 15.10.2019.

Принята к публикации 10.02.2020.

INTERMUNICIPAL COOPERATION IN TIMBER INDUSTRY AS FACTOR IN ECONOMIC DEVELOPMENT OF NORTH-EASTERN SUBREGION OF REPUBLIC OF BASHKORTOSTAN

E.R. Mamleeva, M.Y. Sazykina, N.V. Trofimova

Institute for Strategic Studies of the Republic of Bashkortostan, 15, Kirova st., 450000, Ufa, Russia

mamleevaer@isi-rb.ru

This research article discusses the problems of the development of inter-municipal cooperation at the regional level in the field of timber industry at the present stage. It is worth noting that municipalities have broad powers in the economies of developed countries. For the first time, the question arises of the need to establish inter-municipal ties in the timber industry in the north-eastern municipal regions of the Republic of Bashkortostan. A project is proposed to create logging centers that can be created on the principles of municipal-private partnership. In order to solve the industrial processing of forests in connection with a large share of substandard, mature and deciduous forests, the production of biofuels (charcoal and pellets) is proposed. With the aim of reforestation along with an increase in the area of forest nurseries, a promising area is forest plantation cultivation. A promising direction for the development of the timber industry is the creation of an industrial forestry park, which will allow through the systematic use of the principles of project management, public-private partnership to successfully implement the tasks set for the timber industry of the republic to increase the use of the estimated cutting area and the efficient use of low-grade wood. It should be noted that the solution of these issues is impossible without a systemic state support, and then determine the directions in which it is necessary to move in this matter.

Keywords: forest industry, municipal district, inter-municipal cooperation

Suggested citation: Mamleeva E.R., Sazykina M.Y., Trofimova N.V. *Mezhmunitsipal'noe sotrudnichestvo v lesopromyshlennom komplekse kak faktor ekonomicheskogo razvitiya severo-vostochnogo subregiona Respubliki Bashkortostan* [Intermunicipal cooperation in timber industry as factor in economic development of north-eastern subregion of Republic of Bashkortostan]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 3, pp. 109–116. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-3-109-116

References

- [1] *Sotsialno-ekonomicheskoe polozhenie munitsipalnykh rayonov i gorodskikh okrugov Respubliki Bashkortostan: statisticheskii sbornik* [The socio-economic situation of municipal districts and urban districts of the Republic of Bashkortostan: a statistical compilation]. Ufa: Bashkortostanstat, 2018, 277 p.
- [2] *Strategiya razvitiya lesopromyshlennogo kompleksa Respubliki Bashkortostan na srok do 2030 goda* [The development strategy of the timber industry of the Republic of Bashkortostan for a period up to 2030]. Available at: <http://docs.entd.ru/document/550275234> (accessed 21.09.2019).
- [3] *Investitsionnyy portal Respubliki Bashkortostan* [Investments in the Republic of Bashkortostan]. Available at: <https://investrb.ru/ru/investment/investor/sites/> (accessed 19.06.2019).
- [4] *O prodlenii do 2020 goda sroka realizatsii Srednesrochnoy kompleksnoy programmy sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya severo-vostochnykh rayonov Respubliki Bashkortostan na 2011–2015 gody (s izmeneniyami na 15 fevralya 2019 goda)* [On the extension until 2020 of the term for the implementation of the Medium-term comprehensive program of socio-economic

- development of the north-eastern regions of the Republic of Bashkortostan for 2011–2015 (as amended on February 15, 2019)]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/445042874> (accessed 21.09.2019).
- [5] Gataullin R.F. *Mekhanizm nivelirovaniya polyarizatsii v razvitiy raznourovnevnykh territorial'nykh sotsial'no-ekonomicheskikh sistem* [The mechanism of leveling polarization in the development of multilevel territorial socio-economic systems]. *Vestnik Evraziyskoy nauki* [Bulletin of Eurasian Science], 2019, no. 2, p. 17. Available at: <https://esj.today/PDF/14ECVN219.pdf>
- [6] Moiseev N.A. *O kakom proryve v lesnykh delakh Rossii mozhet i dolzhna by idti rech'?* [What kind of breakthrough in the forest affairs of Russia can and should be discussed?]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2019, vol. 23, no. 5, pp. 8–15. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-5-8-15
- [7] Moiseev N.A. *Lesnaya nauka i praktika v istoricheskom aspekte: sostoyanie i perspektivy na primere Rossii* [Forest science and practice in a historical aspect: state and prospects on the example of Russia]. *Lesa Evrazii — Podmoskovnye vechera: Materialy X Mezhdunarodnoy konferentsii molodykh uchenykh, posvyashchennoy 90-letiyu so dnya osnovaniya Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa i 170-letiyu so dnya rozhdeniya professora M.K. Turskogo* [Forests of Eurasia — Moscow Nights: Materials of the X International Conference of Young Scientists dedicated to the 90th anniversary of the founding of Moscow State Forest University and the 170th birthday of Professor M.K. Turskii], Moscow, 19–25 September 2010. Moscow: MSFU, 2010, pp. 17–31.
- [8] Gnatovskaya I.V., Gnatovskaya T.A. *Lesa Tsentral'nogo regiona Rossii — problemy lesopol'zovaniya* [Forests of the Central Region of Russia — Forest Management Problems]. *Lesa Evrazii — Serbskie lesa: Materialy XVIII Mezhdunarodnoy konferentsii molodykh uchenykh, posvyashchennoy akademiku professoru Zharku Miletichu (1891–1968)* [Forests of Eurasia — Serbian Forests: Materials of the XVIII International Conference of Young Scientists Dedicated to the Academician Professor Zhark Miletich (1891–1968)], Belgrad, 23–29, September 2018. Belgrad: University of Belgrade, Faculty of Forestry, 2019, pp. 110–114. Available at: http://lesaevrasii.ru/content/uploads/officialnye-dokumenty/sbornik_le_2018.pdf
- [9] Mamlieva E.R., Sazykina M.Yu., Trofimova N.V. *Mezhmunitsipal'noe sotrudnichestvo kak mekhanizm razvitiya severo-vostochnykh munitsipal'nykh rayonov Respubliki Bashkortostan* [Intermunicipal cooperation as a mechanism for the development of the north-eastern municipal regions of the Republic of Bashkortostan]. *Vosproizvodstvennyy potentsial regiona: problemy kolichestvennykh izmereniy ego strukturnykh elementov. Materialy VII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [The reproductive potential of the region: problems of quantitative measurements of its structural elements. Proceedings of the VII International Scientific and Practical Conference], BashGU, Ufa, June 7–8, 2019. Ed. A.V. Yangirov. Ufa: BashGU, 2019. 304 p.
- [10] *Strategiya sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya Kiginskogo rayona na period do 2030 goda* [The strategy of socio-economic development of the Kiginsky district for the period until 2030] Available at: <https://kigi.bashkortostan.ru/documents/active/172782> (accessed 21.09.2019).
- [11] Vakhrushev K.V., Absalyamov R.R. *Lesnoy kompleks Udmurtskoy Respubliki: sostoyanie, problemy, perspektivy razvitiya lesnykh otnosheniy* [Forest complex of the Udmurt Republic: state, problems, prospects for the development of forest relations]. *Lesa Evrazii — Lesa Povolzh'ya: Materialy XVII Mezhdunarodnoy konferentsii molodykh uchenykh, posvyashchennoy 150-letiyu so dnya rozhdeniya professora G.F. Morozova, 95-letiyu Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta i Godu ekologii v Rossii* [Forests of Eurasia — Forests of the Volga Region: Materials of the XVII International Conference of Young Scientists dedicated to the 150th anniversary of Professor G.F. Morozov, the 95th anniversary of Kazan State Agrarian University and the Year of Ecology in Russia], Kazan', 22–28 oktyabrya 2017 g. Moscow: Maska, 2017, pp. 34–38.
- [12] Nikishov V.D. *Kompleksnoe ispol'zovanie drevesiny* [Integrated use of wood] Moscow: *Lesnaya promyshlennost'* [Forest industry], 1985, 264 p.
- [13] Semenov M.I. *Proizvodstvo elektro- i teploenergii iz otkhodov lesozagotovok i derevoobrabotki* [Production of electricity and heat from waste logging and woodworking]. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of Altai State Agrarian University], 2014, no. 7 (117), pp. 86–91.
- [14] Butakov A.I., Semenov M.I. *Otsenka resursov nizkotovarnoy i malotsennoy drevesiny, perspektivnykh ob'emov lesosechnykh otkhodov i otkhodov derevoobrabotki dlya ispol'zovaniya v kachestve biotopliva* [Evaluation of the resources of low-commodity and low-value wood, the prospective volumes of logging waste and wood processing waste for use as biofuel] // *Lesa Evrazii — Bol'shoy Altay: Materialy XV Mezhdunarodnoy konferentsii molodykh uchenykh, posvyashchennoy 150-letiyu so dnya rozhdeniya professora G.N. Vysotskogo* [Eurasia — Bolshoi Altai: Materials of the XV International Conference of Young Scientists dedicated to the 150th anniversary of the birth of Professor G.N. Vysotsky], Barnaul, 13–20 September 2015. Moscow: MSFU, 2015, pp. 42–43.
- [15] Kvasnikova V.V., Gerasimova O.O. *Marketingovoe issledovanie kon'yunktury rynka pellet Respubliki Belarus': sostoyanie i perspektivy razvitiya* [Marketing research of the pellet market in the Republic of Belarus: state and development prospects]. *Pravo. Ekonomika. Psikhologiya* [Law. Economy. Psychology], 2019, no. 4 (16), pp. 42–52.
- [16] Neshataeva E.V., Karjalainen T. Impact of the eu timber regulation on russian companies exporting wood and wood-based products. *Resources and Technology*, 2015, t. 12, no. 1, pp. 37–46.
- [17] Kirusheva N.Yu., Knyazeva G.A. *Rol' industrial'nykh parkov lesopromyshlennoy spetsializatsii v formirovaniy «zelenoy» ekonomiki strany* [The role of industrial parks of forestry specialization in the formation of the green economy of the country]. *Korporativnoe upravlenie i innovatsionnoe razvitiye ekonomiki Severa: Vestnik Nauchno-issledovatel'skogo tsentra korporativnogo prava, upravleniya i venchurnogo investirovaniya Syktyvkar'skogo gosudarstvennogo universiteta* [Corporate Governance and Innovative Development of the North Economy: Bulletin of the Research Center for Corporate Law, Management and Venture Investment of Syktyvkar State University], 2016, 3, pp. 49–59. Available at: <http://vestnik-ku.ru/images/2016/3/2016-3-6.pdf> (accessed 21.09.2019).
- [18] Nuriakhmetov I.M., Kozlova T.V. *Metody otsenki investitsionnoy privlekatel'nosti predpriyatiy lesnoy otrasli* [Methods for assessing the investment attractiveness of forest enterprises] *Ekonomika i predprinimatel'stvo* [Economics and Entrepreneurship], 2019, no. 1 (102), pp. 392–394.

- [19] Shirokova E.V. *Ekologo-ekonomicheskiy analiz sostoyaniya lesnogo fonda i lesopol'zovaniya v Penzenskoy oblasti* [Ecological and economic analysis of the state of the forest fund and forest management in the Penza region]. *Niva Povolzh'ya* [Niva Volga Region], 2012, no. 4 (25), pp. 128–133.
- [20] Sabirov R.I. *Integratsiya — osnova effektivnogo razvitiya lesopromyshlennogo kompleksa Respubliki Bashkortostan* [Integration is the basis for the effective development of the timber industry of the Republic of Bashkortostan]. *Ekonomika i upravlenie: nauchno-prakticheskiy zhurnal* [Economics and Management], 2015, no. 1, pp. 80–84.

Authors' information

Mamleeva El'vira Rashidovna — Cand. Sci. (Economic), Senior Researcher, Center for the Study of the Regional Development of the Region GANU Institute for Strategic Studies of the Republic of Bashkortostan, mamleevaer@isi-rb.ru

Sazykina Marina Yur'evna — Cand. Sci. (Economic), Senior Researcher, Center for the Study of the Regional Development of the Region GANU Institute for Strategic Studies of the Republic of Bashkortostan, sazykinamyu@isi-rb.ru

Trofimova Natal'ya Vladimirovna — Cand. Sci. (Economic), Head of the Center for the Study of Territorial Development of the Region GANU Institute for Strategic Studies of the Republic of Bashkortostan, trofimovanv@isi-rb.ru

Received 15.10.2019.

Accepted for publication 10.02.2020.

ХІХ МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ «ЛЕСА ЕВРАЗИИ — ЮЖНЫЙ УРАЛ» г. ЧЕЛЯБИНСК, 25 — 31 АВГУСТА 2019 г.

Главное управление лесами Челябинской области совместно с Мытищинским филиалом Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана при поддержке Челябинского государственного университета провели ХІХ Международную конференцию молодых ученых «Леса Евразии — Южный Урал».

Стартовав на Мытищинской земле в Подмосковье в 2001 г., конференция «Леса Евразии» ежегодно проводит работу в разных странах — Беларуси, Боснии и Герцеговине, Венгрии, Кыргызстане, Литве, Польше, России, Сербии, Украине, Финляндии. Место проведения конференции выбрано не случайно, ведь лесная отрасль Челябинской области сегодня занимает первые строки в рейтинге по показателям эффективности лесопроизводства и служит примером комплексного ведения лесного хозяйства в России, достойным для ознакомления молодых ученых и производственников разных стран.

Предыдущая конференция 2018 г. «Леса Евразии — Южный Урал» была приурочена к 150-летию со дня рождения профессора Е.В. Алексеева, 150-летию со дня рождения лесоведа-классика А.А. Крюденера и 100-летию Московского лесотехнического института (Московского государственного университета леса).



Главной целью данной конференции было ознакомление молодых ученых с новейшими открытиями в различных областях природопользования, с современными принципами ведения комплексного лесного хозяйства экологически щадящими методами на основе последних научных достижений в области биологии, генетики и биохимии, с инновационными методами сохранения биологического разнообразия лесных экосистем на Южном Урале, технологиями



переработки недревесных продуктов леса, древесины и ее отходов, их применением в научно-исследовательской работе и учебном процессе. Наряду с этим форум рассмотрел и такие важные задачи, как создание условий для взаимодействия специалистов в области лесного хозяйства, лесоводства и заповедного дела с активистами общественных экологических организаций, средств массовой информации и ученых для совершенствования охраны лесных экосистем и окружающей среды, установления контактов с зарубежными партнерами и выполнения совместных проектов.

В конференции приняли участие более 150 ученых и специалистов из Беларуси, Боснии и Герцеговины, Венгрии, Германии, Италии, Ирана, Казахстана, Китая, Кыргызстана, Польши, России, Сербии, Таджикистана, Украины, Швеции, Эстонии. Следует отметить, что география российских участников также внушительна — в конференции приняли участие специалисты из Башкортостана, Дагестана, Республики Марий Эл, Татарстана, Удмуртии, Алтайского, Краснодарского и Красноярского краев, Архангельской, Вологодской, Брянской, Кировской, Новосибирской, Московской, Свердловской, Томской, Тюменской, Челябинской областей, городов Москвы и Санкт-Петербурга и других регионов. В конференции кроме постоянных членов приняли участие также и гости.

Открытие конференции состоялось 26 августа 2019 г. в Челябинском государственном университете. Помимо пленарных и секционных заседаний в рамках конференции участники конференции



посетили Ботанический сад, кафедры и лаборатории Челябинского государственного университета. С особенностями комплексного ведения лесного хозяйства и инновациями в лесной отрасли Южного Урала участники конференции в рамках научно-практических занятий ознакомились с Верхнеуральским, Златоустовским, Ильменским, Кыштымским, Миасским, Саткинским и Шершнёвским лесничествами, государственным заповедником имени В.И. Ленина, Национальными парками «Таганай» и «Зюраткуль», в которых им представили современные научные достижения биохимии, молекулярной биологии и генетики, инновации и передовые методы ведения лесного хозяйства, а также возможности их использова-

ния в лесном комплексе. Кроме того, программа включала в себя знакомство с культурно-историческим и природным наследием Южного Урала, в том числе посещение достопримечательностей г. Челябинска, Музея оружия в г. Златоусте и оз. Тургояк. В рамках программы конференции были подписаны договоры о международном сотрудничестве в сферах лесного хозяйства, науки и образования. За лучшие доклады молодым ученым была присуждена Премия профессора Серджио Мапелли (Италия).

В основе статей этого номера «Лесного вестника» лежат материалы докладов XIX Международной конференции молодых ученых «Леса Евразии — Южный Урал».