

ЛЕСНОЙ ВЕСТНИК / FORESTRY BULLETIN

Научно-информационный журнал

№ 6 ' 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

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

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

Кирухин 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

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*

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

Наквасина Елена Николаевна, д-р с.-х. наук, профессор,
Северный (Арктический) федеральный университет
им. М.В. Ломоносова, Высшая школа естественных наук
и технологий, Архангельск

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

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

Полуэтов Николай Павлович, д-р техн. наук, профессор,
Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

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

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

Стрекалов Александр Федорович, канд. техн. наук, 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 имени М.В. Ломоносова, Москва

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

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

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. Рязской

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 12.11.2020.

Тираж 600 экз.

Заказ №

Объем 14,75 п. л.

Цена свободная

LESNOY VESTNIK / FORESTRY BULLETIN

Scientific Information Journal
№ 6 ' 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
Besschetnov Vladimir Petrovich, Professor, Dr. Sci. (Biol.), Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, Nizhny Novgorod
Burmistrova Olga Nikolaevna, Professor, Dr. Sci. (Tech.), Ukhhta State Technical University, Ukhhta
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 policy specialization, George-August-Universitet, 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
Moiseyev Aleksandr Nikolaevich, Senior Researcher, European Forest Institute, Joensuu, Finland
Nakvasina Elena Nikolaevna, Professor, Dr. Sci. (Agric.), Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Higher School of Natural Sciences and Technology, Arkhangelsk
Niemz Peter, Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h.c., Prof. for Wood Physics, ETH Zurich (Swiss Federal Institute of Technology in Zurich; Eidgenossische Technische Hochschule Zurich)
Obilin 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 12.11.2020.
Circulation 600 copies
Order №
Volume 14,75 p. p.
Price free

СОДЕРЖАНИЕ

ЛЕСОВЕДЕНИЕ, ЛЕСОВОДСТВО И ТАКСАЦИЯ ЛЕСА

Оплетаев А.С. Структура и распространение лиственничников на территории Среднего Урала	5
Абсалямов Р.Р., Поздеев Д.А., Абсалямова С.Л., Якимов М.В., Старков М.Н. Производительность березняков Удмуртской Республики	12
Грибов С.Е., Корчагов С.А., Хамитов Р.С., Евдокимов И.В. Производительность древостоев, сформировавшихся на землях сельскохозяйственного назначения	19
Глушко С.Г., Галиуллин И.Р., Прохоренко Н.Б. Шайхразиев Ш.Ш. Оценка культур сосны обыкновенной (<i>Pinus sylvestris</i> L.) в условиях Республики Татарстан	26

ЛЕСНЫЕ КУЛЬТУРЫ, СЕЛЕКЦИЯ, ГЕНЕТИКА

Мерзленко М.Д., Мельник П.Г., Глазунов Ю.Б., Коженкова А.А., Первалова Е.А. Результаты изучения географических посадок сосны и лиственницы в Серебряноборском опытном лесничестве	34
Паркина О.В., Третьякова Р.А., Галецкая Г.А. Динамика семеношения сосны кедровой сибирской (<i>Pinus sibirica</i>) в условиях Новосибирской области	44
Полякова О.И. Морфолого-анатомические особенности хвои у семенного и разновозрастного вегетативного потомства мутационных «ведьминых метел» <i>Pinus sibirica</i> Du Tour	51
Карбасникова Е.Б. Оценка перспективности интродукции каштана конского обыкновенного (<i>Aesculus hippocastanum</i> L.) в условиях г. Вологды	58

ЭКОЛОГИЯ И МОНИТОРИНГ ЛЕСА

Денисова Н.Б., Соболев А.А., Шипинская У.С. Результаты обследования очагов сибирского шелкопряда (<i>Dendrolimus sibiricus</i> Tschetw.) на территории Васюганского лесничества Томской области	65
Кузьмина Н.А., Мохначев П.Е., Менщиков С.Л. Аккумуляция тяжелых металлов в снеговой воде, почве и состоянии березовых древостоев в условиях техногенного загрязнения	73
Судник А.В., Вознячук И.П. Последствия воздействия загрязнения придорожных территорий компонентами солевых реагентов на экологическое состояние почвы и растений в лесных биогеоценозах	83

ЛЕСНАЯ БИОТЕХНОЛОГИЯ

Бухарина И.Л., Пашкова А.С. Формирование корневой системы хвойных растений в насаждениях г. Ижевска (Удмуртская Республика)	96
Кононов Г.Н., Зайцев В.Д. Древесина как химическое сырье. История и современность. II. Анатомия древесины как фактор ее химической активности	103
Карпачев С.П., Быковский М.А., Лаптев А.В. К вопросу выбора харвестерной головки для лесов Центральной России	113

CONTENTS

SILVICULTURE, FORESTRY AND FOREST TAXATION

Opletaev A.S. Structure and distribution of larch forests in Middle Urals	5
Absalyamov R.R., Pozdeev D.A., Absalyamova S.L., Yakimov M.V., Starkov M.N. Birch forests productivity in Udmurt Republic	12
Gribov, S.A. Korchagov, R.S. Khamitov, I.V. Evdokimov Productivity of stands formed on agricultural lands	19
Glushko S.G., Galiullin I.R., Prokhorenko N.B., Shaikhraziev Sh.Sh. Scots pine (<i>Pinus sylvestris</i> L.) cultivation in Republic of Tatarstan	26

FOREST CULTURES, BREEDING, GENETICS

Merzlenko M.D., Melnik P.G., Glazunov Yu.B., Kozhenkova A.A., Perevalova E.A. Study results of pine and larch provenance trial in Serebryanoborsky experimental forest district	34
Parkina O.V., Tretyakova R.A., Galitskaya G.A. Dynamics of siberian pine (<i>Pinus sibirica</i>) seed production in Novosibirsk region	44
Polyakova O.I. Morphological and anatomical characteristics of needles in seedlings and vegetative progeny of different ages from mutational witches' brooms of <i>Pinus sibirica</i> Du Tour	51
Karbasnikova E.B. Prospects of common horse chestnut (<i>Aesculus hippocastanum</i> L.) introduction in Vologda	58

FOREST ECOLOGY AND MONITORING

Denisova N.B., Sobolev A.A., Shipinskaya U.S. Study results of siberian moth (<i>Dendrolimus sibiricus</i> Tschetw.) outbreak foci in Vasyugan forestry of Tomsk region	65
Kuz'mina N.A., Mokhnachev P.E., Menshchikov S.L. Accumulation of heavy metals in snow water, soil and the state of birch stands in conditions of technogenic pollution	73
Sudnik A.V., Voznyachuk I.P. Consequences of pollution on roadside territories by salt reagents on soil and plants ecological state in forest biogeocenoses	83

FOREST BIOTECHNOLOGY

Bukharina I.L., Pashkova A.S. Coniferous plants root system formation in plantations of Izhevsk (Udmurt Republic)	96
Kononov G.N., Zaytsev V.D. Wood as a chemical raw material. History and modernity. II. Wood anatomy as a factor of its chemical activity	103
Karpachev S.P., Bykovskiy M.A., Laptev A.V. Choosing harvester head for forests of Central Russia	113

СТРУКТУРА И РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЛИСТВЕННИЧНИКОВ НА ТЕРРИТОРИИ СРЕДНЕГО УРАЛА

А.С. Оплетаев

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

opletaev.ekb@yandex.ru

Приведены результаты исследований, характеризующие структуру и закономерности распространения древостоев с участием лиственницы Сукачева (*Larix sukaczewii* Dyl.) в лесах Среднего Урала Свердловской обл. Установлено, что лиственничники произрастают на площади 17 146 га во всех лесничествах региона, распределение лиственничников по группам возраста неоднородное, его зависимость описывает полиномиальная линия тренда третьего порядка с величиной достоверной аппроксимации 0,9671. Определена доля молодняков, которая составила 43,1 % в общей площади лиственничников. Средневозрастные насаждения с преобладанием лиственницы произрастают на площади 4493 га (26,2 %). Отмечена низкая доля припевающих насаждений — 6,5 %. Спелые и перестойные насаждения представлены на площади 4148 га (24,2 %). Максимального среднего запаса 268 м³/га достигают припевающие лиственничники. Поскольку лиственница является светолюбивой породой, то с увеличением возраста происходит естественное изреживание древостоев и снижается относительная полнота, поэтому наблюдается снижение средних запасов спелых и перестойных древостоев (248 и 197 м³/га соответственно). На характер распределения площади насаждений по группам возраста существенное влияние оказывает интенсивное лесопользование, однако положительным фактом отмечается большая доля молодняков и средневозрастных насаждений, что свидетельствует об успешности лесовосстановления лиственницы в лесорастительных условиях Среднего Урала. Сделан вывод о том, что в целях увеличения доли лиственничников в лесном фонде Среднего Урала целесообразно проводить мероприятия по уходу за лесом в горной части таежной зоны, а в равнинной ее части необходимо увеличивать долю искусственных лиственных насаждений.

Ключевые слова: *Larix sukaczewii* Dyl., лиственница, лиственничники, Средний Урал, возрастная структура, лесные насаждения, древостой

Ссылка для цитирования: Оплетаев А.С. Структура и распространение лиственничников на территории Среднего Урала // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 6. С. 5–11.
DOI: 10.18698/2542-1468-2020-6-5-11

Лиственница Сукачева (*Larix sukaczewii* Dyl.) является одной из наиболее ценных древесных пород таежной зоны, позволяющих в благоприятных для нее лесорастительных условиях формировать высокопродуктивные насаждения, однако на Среднем Урале доля лиственничников невелика и составляет всего 0,13 % общей площади лесных земель. Увеличение площади насаждений с участием лиственницы позволяет повысить продуктивность лесов Урала [1], но естественное лесовозобновление этой породы в ряде случаев затруднено и очень часто после рубки лиственничников наблюдается смена пород [2]. Для лесов Урала характерно длительное антропогенное воздействие на лесные экосистемы, связанные главным образом с заготовкой древесины для нужд промышленности, что оказывает влияние на состав, структуру и распространение лесных насаждений с участием лиственницы.

Лиственница, произрастающая на Урале, по мнению некоторых исследователей, имеет неопределенный систематический статус. Впервые этот вид был выделен Н.В. Дылисом в 1947 г. [3]. Часть авторов признают самостоятельность лиственницы Сукачева как отдельного таксона

[4–8]. Другие исследователи придерживаются этого мнения, но предполагают, что на территории Приполярного и Полярного Урала произрастает типичная лиственница Сибирская (*Larix sibirica* Ledeb.), которая образует в этих условиях верхнюю границу леса [9, 10]. Существует также противоположная точка зрения, которая указывает на существование только сибирской лиственницы [11].

Результаты геномных исследований подтверждают статистически значимую популяционную дифференциацию у евразийских видов лиственниц, которая была обнаружена среди соседних рефугиальных популяций, что вызвано ограниченным потоком генов и их длительной изоляцией. Реконструкция филогенетических взаимоотношений лиственниц сибирской и Сукачева показала явное расхождение интронных последовательностей тРНК между ними. Это расхождение достигает внутривидового уровня, что подтверждает ранее опубликованную гипотезу о таксономической изоляции *L. sukaczewii* [12]. Среди *L. sukaczewii* и *L. sibirica* наблюдаются заметные различия в составе и распределении гаплотипов наряду с высокими значениями

дифференциации популяции, что указывает на разделение на отдельные виды [13]. Но, несмотря на результаты отдельных генетических исследований, авторы отмечают, что для правильной классификации лиственниц необходима более интенсивная выборка, позволяющая обобщить данные об одном из наиболее широко распространенных родов деревьев Евразии [14, 15].

Цель работы

Целью настоящей работы является обобщение существующих данных и оценка состояния, структуры и распространения лиственничников, произрастающих на территории Среднего Урала.

Материалы и методы

Объектом изучения являются лесные насаждения с преобладанием лиственницы в составе древостоев естественного и искусственного происхождения. Модельной территорией для изучения лиственничников средней части Уральских гор была выбрана Свердловская обл., границы которой расположены в пределах, наиболее близко совпадающих с границами Среднего Урала. Анализируемый регион расположен в интервалах географических координат $55^{\circ}15' - 59^{\circ}30'$ с. ш. и $56^{\circ}30' - 62^{\circ}00'$ в. д. Уральские горы в этом районе понижаются, а их простираение изменяется с меридионального на юго-восточное. Основная часть территории занимает высотный уровень от 400 до 600 м н. у. м. Районирование лесного фонда выполнено по уточненной схеме с выделением горной и равнинной зоны в Средне-Уральском и Северо-Уральском таежных районах [16].

В основу исследований положен метод анализа повыведельной геобазы с использованием SQL-запросов для определения статистически достоверной информации с применением геоинформационной системы MapInfo [17]. Применение современных методов обработки табличных, картографических и спутниковых данных [18–20] позволяет составить тематические карты распространения лиственничников при исследовании лесных массивов на обширных территориях. Обработку материала проводили прикладными программами обработки табличных и таксационных данных.

Результаты и обсуждение

При анализе лесного фонда установлено, что лиственничники произрастают на площади 17 146 га на территории всех лесничеств региона. Распределение площади лиственничных насаждений Свердловской обл. по группам возраста является неоднородным, его зависимость описывает полиномиальная линия тренда третьего порядка с величиной достоверной аппроксимации 0,9671

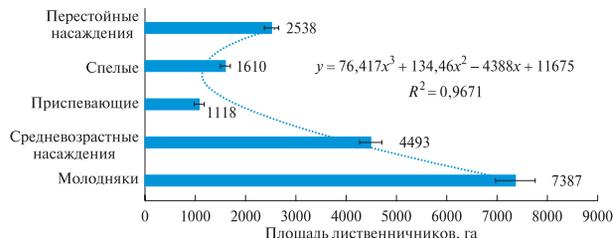


Рис. 1. Распределение лиственничников Свердловской обл. по группам возраста

Fig. 1. Distribution of larch trees in the Sverdlovsk region by age groups

Т а б л и ц а 1

Характеристика запасов лиственничников Свердловской области

Characteristics of wood stock in larch forests of the Sverdlovsk region

Характеристика	Группа возраста					Всего
	1	2	3	4	5	
Запас лиственничников, млн м ³	0,4	1,1	0,3	0,4	0,5	2,7
Доля от общего запаса лиственничников, %	14,8	40,8	11,1	14,8	18,5	100
Средний запас, м ³ /га	54	245	268	248	197	157

Примечание. 1 — молодняки; 2 — средневозрастные насаждения; 4 — приспевающие; 5 — спелые; 6 — перестойные насаждения.

(рис. 1). На характер распределения площади насаждений по группам возраста существенное влияние оказывает длительное интенсивное лесопользование, однако важно отметить большую долю лиственничных молодняков, которые произрастают на площади 7387 га (43,1 %), что свидетельствует об успешности возобновления лиственницы в лесорастительных условиях Среднего Урала. Средневозрастные лиственничники произрастают на площади 4493 га (26,2 %). Особо следует подчеркнуть низкую долю приспевающих насаждений 6,5 % (1118 га). Спелые и перестойные насаждения представлены на площади 4148 га (24,2 %).

Данные о запасах лиственничников (табл. 1) свидетельствуют о достаточно высокой производительности древостоев. Биологической особенностью породы является быстрый рост в молодом возрасте, поэтому средний запас средневозрастных лиственничников составляет 245 м³/га. Максимальный средний запас лиственничников (268 м³/га) отмечается в группе возраста приспевающих насаждений. Данные о высоких запасах приспевающих насаждений согласуются с результатами исследований о характере роста лиственницы Сукачева при интродукции. По данным П.Г. Мельник и Н.Н. Карасева приспевающие

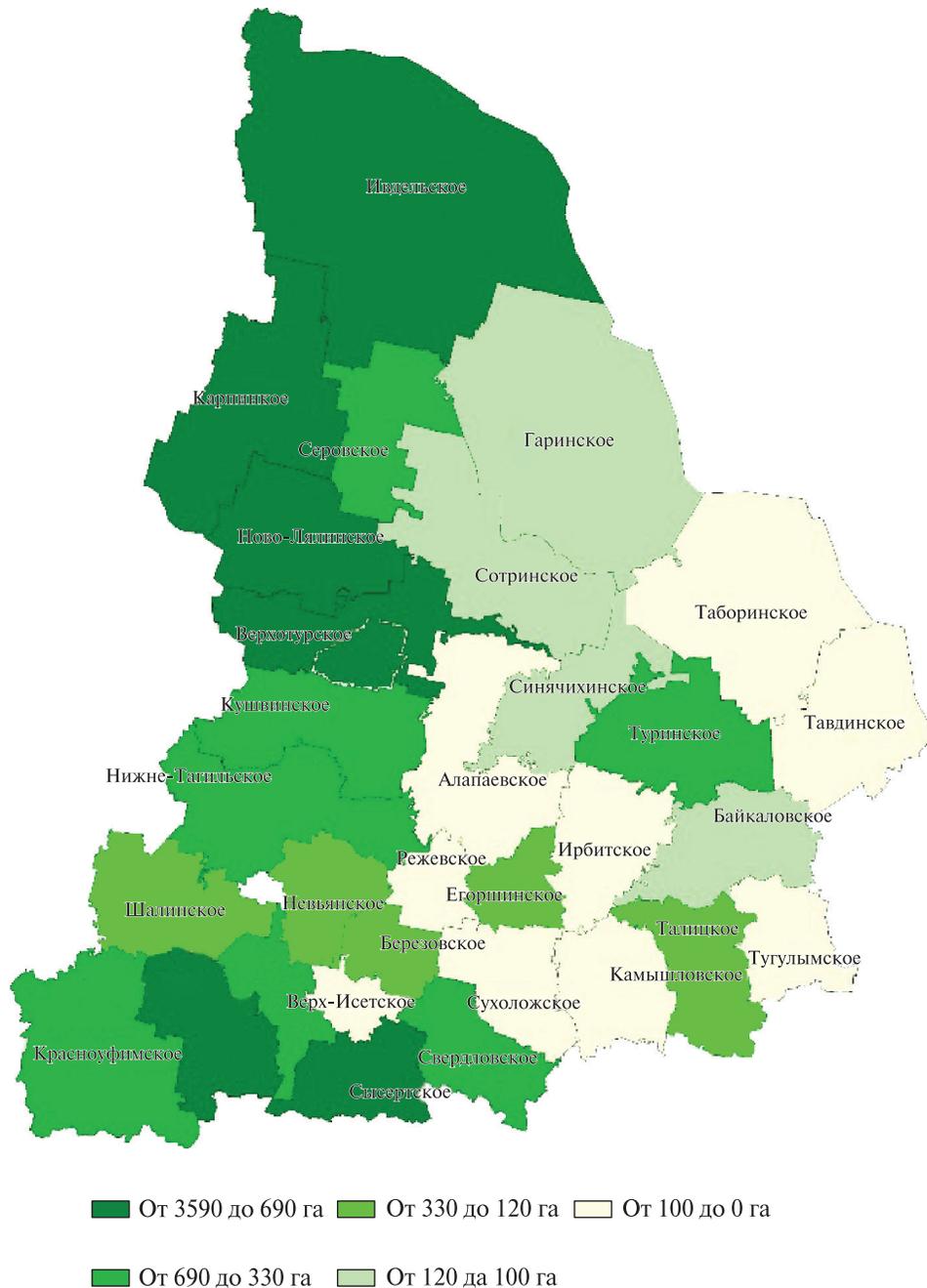


Рис. 2. Распространение лиственничников на территории Свердловской области
 Fig. 2. Distribution of larch forests in the Sverdlovsk region

искусственные насаждения *L. sukaczewii* в Московской обл. достигают запасов до 575 м³/га [21]. С увеличением возраста по причине высокой требовательности к освещенности происходит естественное изреживание древостоев, снижается относительная полнота и количество деревьев на площади в 1 га, поэтому наблюдается некоторое уменьшение запасов спелых и перестойных древостоев (248 и 197 м³/га соответственно). В качестве рекомендации отметим, что проведение рубок ухода в лиственничниках и насаждениях с высокой долей участия *L. sukaczewii*

позволяет получить ликвидную древесину уже на этапе прореживаний, поэтому проведение рубок ухода в этих насаждениях следует планировать в обязательном и первоочередном порядке.

Для изучения характера распространения лиственничников на карту Свердловской обл. были нанесены административные границы лесничеств и лесорастительных районов с последующим распределением территории по площади распространения лиственничников (рис. 2, 3). Лесничества области были подразделены на группы в зависимости от представленности лиственничников.

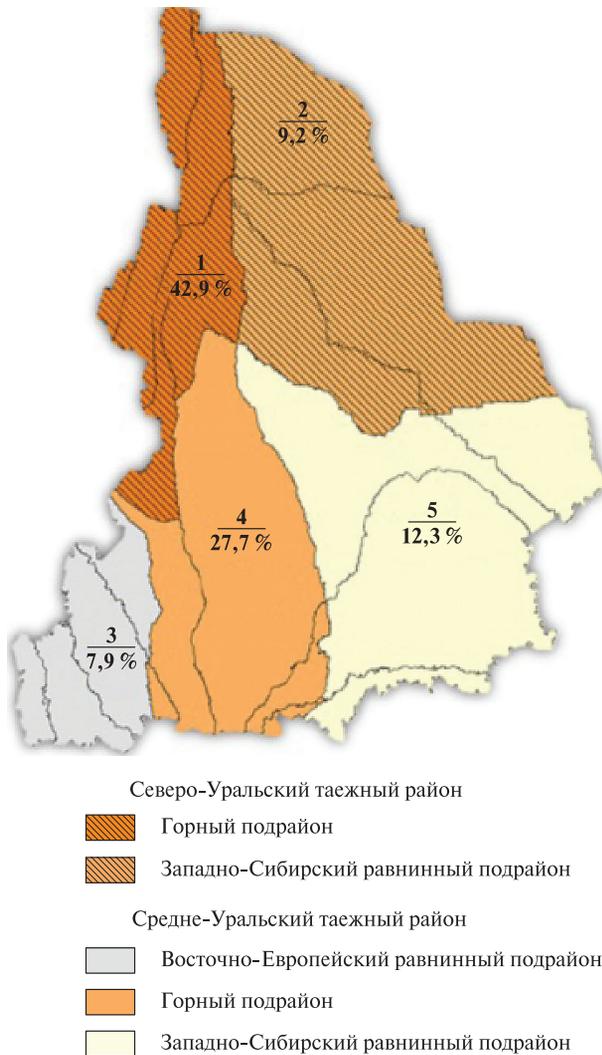


Рис. 3. Распределение лиственничников по лесорастительным районам

Fig. 3. The distribution of larch forests according to the forest areas

Т а б л и ц а 2

Распространение лиственничников по лесным районам Свердловской области

Distribution of larch forests in the forest areas of the Sverdlovsk region

Лесной район	Подрайон	Площадь лиственничников, га
Северо-Уральский таежный	Горный	7350
	Западно-Сибирский равнинный	1579
Средне-Уральский таежный	Горный	4754
	Западно-Сибирский равнинный	2101
	Восточно-Европейский равнинный	1362
Всего		17 146

Оценивая территориальное распространение *L. sukaczewii*, отметим, что наибольшие площади лиственничников (70,6 %) произрастают в горной части Средне-Уральского и Северо-Уральского таежных районов (табл. 2).

В равнинной части Среднего Урала лиственница Сукачева редко доминирует в составе древостоев и произрастает совместно с другими породами в виде единичной примеси. В восточной части Среднего Урала обширные пространства представлены заболоченными участками, на которых лиственница не произрастает. Однако при создании лесных культур в благоприятных лесорастительных условиях продуктивность лиственничников оценивается на высоком уровне [22–24]. В равнинных условиях Среднего Урала большую конкуренцию лиственнице оказывает бурный рост травянистой растительности или других пород лесобразователей, которые способны быстрее захватить территорию благодаря большому количеству семян или вегетативной поросли. Однако на слабозадернелых вырубках при научном содействии естественному возобновлению можно добиться успешного лесовозобновления лиственницы. Наиболее успешно лиственница возобновляется на участках с выходами горных пород, вершинах гор или всхолмлений. В юго-восточной части области лиственница успешно возобновляется на залежах плотных осадочных силикатных пород — опоках. Лесные почвы, сформированные на опоке, слабо развиты, мощность почвенного профиля не превышает 20...30 см, однако в этих экстремальных для сосны и березы условиях самосев лиственницы отмечается от 3 до 30 тыс. шт./га [25]. Для всех лесных районов Свердловской обл. характерны общая закономерность в распространении лиственничников и их приуроченность к горной части, местами с близким залеганием материнских пород на слабо развитых почвах в условиях нормального увлажнения исключая заболоченные участки.

Выводы

1. Лиственничники Среднего Урала произрастают на площади 17 146 га во всех лесничествах Свердловской области.

2. Распределение лиственничников по группам возраста является неоднородным, в структуре лиственничников преобладают молодняки (43,1 % общей площади). Средневозрастные лиственничники составляют 26,2 % анализируемых насаждений. Спелые и перестойные насаждения произрастают на площади 4148 га (24,2 %). Максимального среднего запаса 268 м³/га достигают приспевающие лиственничники, однако доля их участия составляет всего 6,5 % от анализируемых насаждений.

3. Наиболее благоприятны лесорастительные условия для произрастания лиственницы в горной части Средне-Уральского и Северо-Уральского таежных лесных районов Свердловской обл. Установлено, что в этих лесорастительных условиях произрастает 70,6 % общей площади лиственничников.

4. В равнинной части Средне-Уральского таежного района Свердловской обл. лиственница редко доминирует в составе древостоев. Естественное возобновление лиственницы испытывает сильную конкуренцию со стороны других лесообразующих пород и травянистой растительности.

5. Увеличение доли лиственничников в лесном фонде Среднего Урала целесообразно за счет мероприятий по содействию естественному лесовозобновлению и уходу за лесом в горной части таежной зоны, а в равнинной ее части следует увеличивать долю искусственных лиственничных насаждений.

Список литературы

- [1] Залесов С.В., Луганский Н.А. Повышение продуктивности сосновых лесов Урала: монография. Екатеринбург: УГЛТУ, 2002. 331 с.
- [2] Луганский Н.А., Залесов С.В., Луганский В.Н. Лесоведение. Екатеринбург: УГЛТУ, 2010. 431 с.
- [3] Дылис Н.В. Сибирская лиственница: материалы к систематике, географии и истории. М.: Изд-во Московского об-ва испытателей природы, 1947. 138 с.
- [4] Коновалов Н.А. Лиственница Сукачева на Среднем Урале // Тр. Урал. лесотехн. ин-та, 1959. Вып. 16. С. 82–230.
- [5] Горчаковский П.Л., Чикишев А.Г., Борисевич Д.В. Растительность. Урал и Приуралье. Природные условия и естественные ресурсы СССР: монография. М.: АН СССР, Институт географии, 1968. С. 211–262.
- [6] Путенихин В.П., Фарукишина Г.Г., Шигапов З.Х. Лиственница Сукачева на Урале. Изменчивость и популяционно-генетическая структура: монография. М.: Наука, 2004. 276 с.
- [7] Кулагин А.А., Зайцев Г.А. Лиственница Сукачева в экстремальных лесорастительных условиях Южного Урала. М.: Наука, 2008. 173 с.
- [8] Ирошников А.И. Лиственницы России. Биоразнообразие и селекция: монография. М.: ВНИИЛМ, 2004. 182 с.
- [9] Игошина К.Н. Лиственница на Урале: материалы по истории флоры и растительности СССР. М.: АН СССР, 1963. Вып. 4. С. 462–492.
- [10] Шиятов С.Г., Терентьев М.М., Фомин В.В., Циммерманн Н.Е. Вертикальный и горизонтальный сдвиги верхней границы редколесий и сомкнутых лесов в XX столетии на полярном Урале // Экология, 2007. № 4. С. 243–248.
- [11] Рысин Л.П. Лиственничные леса России: монография. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2010. 343 с.
- [12] Bashalkhanov S.I., Konstantinov Y.M., Verbitskii D.S., Kobzev V.F. Reconstruction of phylogenetic relationships of larch *Larix sukaczewii* Dyl. Based on chloroplast DNA trnK intron sequences // Russian Journal of Genetics, 2003, v. 39 (10), pp. 1116–1120. <https://doi.org/10.1023/A:1026166609055>
- [13] Araki N.H.T., Khatib I.A., Hemamali K.K.G.U., Inomata N., Wang X. R., Szmidt A.E. Phylogeography of *Larix sukaczewii* Dyl. and *Larix sibirica* L. inferred from nucleotide variation of nuclear genes // Tree Genetics and Genomes, 2008, v. 4 (4), pp. 611–623. <https://doi.org/10.1007/s11295-008-0137-1>
- [14] Khatib I.A., Ishiyama H., Inomata N., Wang X.R., Szmidt A.E. Phylogeography of Eurasian *Larix* species inferred from nucleotide variation in two nuclear genes // Genes and Genetic Systems, 2008, v. 83 (1), pp. 55–66. <https://doi.org/10.1266/ggs.83.55>
- [15] Милютин Л.И. Биоразнообразие лиственниц России // Хвойные бореальной зоны, 2003. Т. 21. № 1. С. 6–9.
- [16] Годовалов Г.А., Залесов С.В., Залесова Е.С., Чермных А.И. К вопросу о необходимости уточнения перечня лесных районов Свердловской области // Леса России и хозяйство в них, 2016. № 3 (58). С. 12–19.
- [17] Чермных А.И., Оплетев А.С. Анализ повидельной геобазы с использованием SQL-запросов для определения статистически достоверной информации на примере ГИС MAPINFO // Леса России и хозяйство в них, 2013. № 1 (44). С. 53–54.
- [18] Усольцев В.А., Залесов С.В. Методы определения биологической продуктивности насаждений: монография. Екатеринбург: УГЛТУ, 2005. 147 с.
- [19] Bae S., Levick S.R., Heidrich L. Radar vision in the mapping of forest biodiversity from space // Nat Commun, 2019, v. 10, p. 4757. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-12737-x>
- [20] Surový, P.; Kuželka, K. Acquisition of Forest Attributes for Decision Support at the Forest Enterprise Level Using Remote-Sensing Techniques—A Review // Forests 2019, v. 10, p. 273.
- [21] Мельник П.Г., Карасев Н.Н. Географическая изменчивость лиственницы в фазе приспевания / Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2012. № 1. С. 60–73.
- [22] Залесов С.В., Юровских Е.В., Белов Л.А., Магасумова А.Г., Оплетев А.С. Рост лиственничных древостоев на бывших пашнях // Аграрный вестник Урала, 2015. № 5 (135). С. 50–54.
- [23] Залесов С.В., Фрейберг И.А., Толкач О.В. Проблема повышения продуктивности насаждений лесостепного Зауралья // Сибирский лесной журнал, 2016. № 3. С. 84–89.
- [24] Дебков Н.М., Вадбольская Ю.Е., Покляцкий Д.А., Паршина В.В.Г. Сукцессионные процессы в южно-таежных лесах // Леса России и хозяйство в них, 2018. № 1 (64). С. 36–45.
- [25] Оплетев А.С., Шарова У.С. Лесовозобновление лиственницы Сукачева после сплошных рубок на плотных силикатных почвообразующих породах на Урале // Леса России и хозяйство в них, 2015. № 2 (53). С. 54–59.

Сведения об авторе

Оплетев Антон Сергеевич — канд. с.-х. наук, доцент кафедры лесоводства, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», opletaev.ekb@yandex.ru

Поступила в редакцию 17.08.2020.

Принята к публикации 04.09.2020.

STRUCTURE AND DISTRIBUTION OF LARCH FORESTS IN MIDDLE URALS

A.S. Opletaev

Ural State Forestry Engineering University, 37, Sibirskiy tract st., 620100, Yekaterinburg, Sverdlovsk reg., Russia

Opletaev.ekb@yandex.ru

The results of research describing the structure and distribution patterns of stands with larch (*Larix sukaczewii* Dyl.) in the forests of the Middle Urals of the Sverdlovsk region are presented. Larch forests grow on an area of 17,146 ha in all forest districts. The distribution of larch forests by age groups is heterogeneous, and its dependence is described by a third-order polynomial trend line with a reliable approximation value of 0,9671. The share of larch young forests of the 1st and 2nd age classes was 43,1 % of the total area of larch forests 7387 ha. Medium-aged larch forests grow on an area of 4493 ha (26,2 %). There is a low proportion of plantings (6,5 % or 1118 ha) that are older than average, but have not reached technical maturity. Forests with larch at the age of technical maturity and old-growth forests grow on an area of 4148 ha (24,2 %). The maximum average stock of larch stands (268 m³/ha) was recorded at the age of older than average, but did not reach technical maturity. Since larch is a light-loving species, natural thinning of stands occurs with increasing age and density decreases, so there is a decrease in average forest reserves at the age of technical maturity and old-growth forests (248 and 197 m³/ha, respectively). Intensive forest use has a significant impact on the distribution of the area of plantings by age groups, but a large proportion of young and middle-aged forests is noted as a positive fact, which indicates the success of larch reforestation in the forest-growing conditions of the Middle Urals. It is concluded that increasing the share of larch trees in the forest fund of the Middle Urals is advisable due to measures to care for the forest in the mountainous part of the taiga zone, and in the flat part of it is necessary to increase the share of artificial larch plantations.

Keywords: *Larix sukaczewii* Dyl., larch, larch forests, Middle Urals, forests age structure, forest, tree stands

Suggested citation: Opletaev A.S. *Struktura i rasprostranenie listvennichnikov na territorii Srednego Urala* [Structure and distribution of larch forests in Middle Urals]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 6, pp. 5–11. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-6-5-11

References

- [1] Zalesov S.V., Lugansky N.A. *Povyshenie produktivnosti sosnovykh lesov Urala* [Increasing productivity of pine forests in the Urals]. Yekaterinburg: Ural state forest engineering University, 2002, 331 p.
- [2] Lugansky N.A., Zalesov S.V., Lugansky V.N. *Lesovedenie* [Forest science]. Yekaterinburg: Ural state forest engineering University, 2010, 431 p.
- [3] Dylis N.V. *Sibirskaya listvennica: materialy k sistematike, geografii i istorii* [Siberian larch: materials for systematics, geography and history]. Moscow: Publishing house of the Moscow society of nature testers, 1947, 138 p.
- [4] Konovalov N.A. *Listvennica Sukacheva na Srednem Urale* [Larch Sukacheva in the Middle Urals]. Proceedings of Ural Forest institute, 1959, iss. 16, pp. 82–230.
- [5] Gorchakovskiy P.L., Chikishev A.G., Borisevich D.V. *Rastitelnost. Ural i Priurale. Prirodnye usloviya i estestvennye resursy SSSR* [Vegetation. Ural and Priuralie. Natural conditions and natural resources of the USSR]. Moscow: USSR academy of science. Institute of geography, 1968, pp. 211–262.
- [6] Putenikhin V.P., Farukshina G.G., Shigapov Z.H. *Listvennica Sukacheva na Urale* [Larch Sukacheva in the Urals]. Variability and population-genetic structure. Moscow: Nauka, 2004, 276 p.
- [7] Kulagin A.A., Zaitsev G.A. *Listvennica Sukacheva v ekstremalnykh lesorastitelnykh usloviyakh Yuzhnogo Urala* [Sukacheva Larch in extreme forest-growing conditions of the southern Urals]. Moscow: Nauka, 2008, 173 p.
- [8] Iroshnikov A.I. *Listvennicy Rossii. Bioraznoobrazie i selektsiya* [Larch Trees of Russia. Biodiversity and selection]. Moscow: VNIILM, 2004, 182 p.
- [9] Igoshina K.N. *Listvennica na Urale* [Larch in the Urals]. Materials on the history of flora and vegetation of the USSR. Moscow: Publishing house of the USSR Academy of Sciences, 1963, iss. 4, pp. 462–492.
- [10] Shiyatov S.G., Terentyev M.M., Fomin V.V., Zimmermann N.E. *Vertikalnyy i gorizontalnyy dvigi verkhney granicy redkolesiy i somknytykh lesov v XX stoletii na polyarnom Urale* [Vertical and horizontal shifts of the upper border of woodlands and closed forests in the twentieth century in the polar Urals]. *Ekologiya* [Ecology], 2007, no. 4, pp. 243–248.
- [11] Rysin L.P. *Listvennichnye lesa Rossii* [Larch forests of Russia]. Moscow: Association of scientific publications KMK, 2010, 343 p.
- [12] Bashalkhanov S.I., Konstantinov Y.M., Verbitskii D.S., Kobzev V.F. Reconstruction of phylogenetic relationships of larch *Larix sukaczewii* Dyl. Based on chloroplast DNA trnK intron sequences. *Russian Journal of Genetics*, 2003, v. 39 (10), pp. 1116–1120. <https://doi.org/10.1023/A:1026166609055>
- [13] Araki N.H.T., Khatab I.A., Hemamali K.K.G.U., Inomata N., Wang X. R., Szmidi A.E. Phylogeography of *Larix sukaczewii* Dyl. and *Larix sibirica* L. inferred from nucleotide variation of nuclear genes. *Tree Genetics and Genomes*, 2008, v. 4 (4), pp. 611–623. <https://doi.org/10.1007/s11295-008-0137-1>
- [14] Khatab I.A., Ishiyama H., Inomata N., Wang X.R., Szmidi A.E. Phylogeography of Eurasian *Larix* species inferred from nucleotide variation in two nuclear genes. *Genes and Genetic Systems*, 2008, v. 83 (1), pp. 55–66. <https://doi.org/10.1266/ggs.83.55>
- [15] Milutin L.I. *Bioraznoobrazie listvennic Rossii* [Biodiversity of Russian larch trees]. *Hvoynie borealnoy zony* [Coniferous boreal zones], 2003, v. 21, no. 1, pp. 6–9.

- [16] Godovalov G.A., Zalesov S.V., Zalesova E.S., Chermnykh A.I. *K voprosu o neobходимosti utochneniya perechnya lesnyh rayonov Sverdlovskoy oblasti* [To the question of the need to clarify the list of forest areas of the Sverdlovsk region]. *Lesa Rossii i hozyaystvo v nih* [Russian forests and their production], 2016, no. 3 (58), pp. 12–19.
- [17] Chermnykh A.I., Opletaev A.S. *Analiz povydelnoy geobazy s ispolzovaniem SQL-zaprosov dlya opredeleniya statisticheski dostovernoy informacii na primere GIS MAPINFO* [Analysis of geobase using SQL queries to determine statistically reliable information on the example of GIS MAPINFO]. *Lesa Rossii i hozyaystvo v nih* [Russian forests and their production], 2013, no. 1 (44), pp. 53–54.
- [18] Usoltsev V.A., Zalesov S.V. *Metody opredeleniya biologicheskoy produktivnosti nasazhdeniy* [Methods for determining the biological productivity of plantings]. Yekaterinburg: USFEU, 2005, 147 p.
- [19] Bae S., Levick S.R., Heidrich L. Radar vision in the mapping of forest biodiversity from space. *Nat Commun*, 2019, v. 10, p. 4757. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-12737-x>
- [20] Surový, P.; Kuželka, K. Acquisition of Forest Attributes for Decision Support at the Forest Enterprise Level Using Remote-Sensing Techniques—A Review. *Forests* 2019, v. 10, p. 273.
- [21] Melnik P.G., Karasev N.N. *Geograficheskaya izmenchivost' listvennicy v faze prispevaniya* [Geographical variability of larch in the phase of ripening]. *Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik*, 2012, no. 1, pp. 60–73.
- [22] Zalesov S.V., Yurovskikh E.V., Belov L.A., Magasumova A.G., Opletaev A.S. *Rost listvennichnyh drevostoev na byvshih pashnyah* [Growth of larch stands on former arable land]. *Agrarian Bulletin of the Urals*, 2015, no. 5 (135), pp. 50–54.
- [23] Zalesov S.V., Freyberg I.A., Tolkach O.V. *Problema povysheniya produktivnosti nasazhdeniy lesostepnogo Zaural'ya* [The Problem of increasing productivity of plantings of forest-steppe Trans-Urals]. *Siberian forest journal*, 2016, no. 3, pp. 84–89.
- [24] Debkov N.M., Vadboldskaya Yu.E., Poklyatsky D.A., Parshina V.V.G. *Sukcessionnyye processy v yuzhno-taеzhnyh lesah* [Successional processes in the southern taiga forests]. *Lesa Rossii i hozyaystvo v nih* [Russian forests and their production], 2018, no. 1 (64), pp. 36–45.
- [25] Opletaev A.S., Sharova U.C. *Lesovozobnovlenie listvennicy Sukacheva posle sploshnyh rubok na plotnyh silikatnyh pochvoobrazuyushchih porodah na Urale* [Reforestation of Sukachev larch after continuous logging on dense silicate soil-forming rocks in the Urals]. *Lesa Rossii i hozyaystvo v nih* [Russian forests and their production], 2015, no. 2 (53), pp. 54–59.

Author's information

Opletaev Anton Sergeevich — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Forestry Chair of the Ural State Forest Engineering University, opletaev.ekb@yandex.ru

Received 17.08.2020.

Accepted for publication 04.09.2020.

ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ БЕРЕЗНЯКОВ УДМУРТСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

Р.Р. Абсалямов, Д.А. Поздеев, С.Л. Абсалямова,
М.В. Якимов, М.Н. Старков

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

lesovod27@yandex.ru

Приведены результаты исследований производительности березовых древостоев на территории Удмуртской Республики, относящихся к району южно-таежных лесов таежной зоны европейской части Российской Федерации. Проанализирована динамика площади и запасов березняков Удмуртской Республики. На основании данных, полученных по пробным площадям, выявлено изменение объема выхода деловой древесины в зависимости от типа леса, коэффициента состава и возраста древостоя элемента леса. Проведено сравнение запасов березы, произрастающих в различных типах леса.

Ключевые слова: древостои березы, тип лесорастительных условий, выборочная таксация, страты, запас древостоя элемента леса, возрастная структура древостоев

Ссылка для цитирования: Абсалямов Р.Р., Поздеев Д.А., Абсалямова С.Л., Якимов М.В., Старков М.Н. Производительность березняков Удмуртской Республики // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 6. С. 12–18. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-6-12-18

На территории России произрастает около 70 видов березы (*Betula*), из которых два наиболее распространены и имеют наибольшее значение: береза повислая (*Bétula péndula* Roth.), или бородавчатая, и береза пушистая (*Betula pubéscens* Ehrh.). Ареал распространения обоих видов довольно широк и охватывает более половины площади, занятой лиственными породами в пределах страны.

Особую ценность указанные виды березы представляют, как одни из главных лесообразующих пород мелколиственных лесов. В России около 90 млн га занято древостоями с преобладанием березы, а общий запас их древесины составляет более 6 млрд м³ [1].

Береза является активной пионерной породой, в отсутствие которой многие лесосеки и не покрытые лесом площади остались бы длительное время не облесенными [2]. Кроме того, по мнению ряда исследователей [3], береза относится к почвоулучшающим породам. В определенных условиях продуктивность березовых древостоев не уступает еловым, а во многих случаях даже превосходит ее. Оборот рубки в березняках почти в 2 раза меньше, чем в хвойных хозяйственных секциях [4].

Экологическое значение березовых лесов европейской части РФ подробно рассмотрено С.А. Денисовым [5], который предлагает расценивать присутствие березы в составе древостоев в качестве признака биогеоэкологической устойчивости насаждений и в целом ландшафтов.

В настоящее время значительно возросла потребность в древесине березы, в частности, при производстве фанеры и углеродных материалов [6, 7]. В связи с этим развернулось интенсивное лесопользование в березняках эксплуатацион-

ных лесов. К тому же отмечается значительный интерес к березе, как элементу углероддепонирующих насаждений других стран Европы [8–11].

По мнению В.К. Попова [12], основное преимущество березы являющейся быстрорастущей породой, — нетребовательность к плодородию почвы, поэтому для целевого создания березовых насаждений можно использовать относительно бедные почвы типов В₂–В₃ и относительно богатые — С₂–С₃. При выборе данных условий местопроизрастания уже в возрасте 30...40 лет береза по продуктивности превосходит такие древесные породы, как сосна, дуб и тополь.

Береза произрастает на всей территории Удмуртии, однако ее преобладание характерно для южно-таежного района таежной зоны европейской части РФ [13, 14] (табл. 1).

Площадь березняков увеличилась с 615,5 до 669,0 тыс. га, а запас — с 93,3 до 109,9 млн м³.

В возрастной структуре преобладают средневозрастные древостои, это отмечается на протяжении всего периода наблюдений. Однако заметно снижение площади средневозрастных древостоев к 2018 г. — на 10 % общей площади. Также происходит увеличение в 2 раза спелых древостоев, как по площади, так и по запасу.

В целом по Удмуртской Республике максимальный объем заготовки древесины в лесничествах определяется величиной расчетной лесосеки. В среднем освоение расчетной лесосеки по березовой хозсекции в период с 2002 по 2011 гг. составило 47 % [15, 16]. За счет недоиспользования расчетной лесосеки происходит накопление спелых и перестойных насаждений, что в свою очередь ведет к нарушению возрастной структуры, увеличению естественного отпада и ухудшению качественного состава товарной структуры древостоев.

Т а б л и ц а 1

Динамика площади и запасов березняков Удмуртской Республики

Dynamics of the area and reserves of birch forests in the Udmurt Republic

Группа возраста	2003-й год		2008-й год		2018-й год	
	площадь, тыс. га	запас, млн м ³	площадь, тыс. га	запас, млн м ³	площадь, тыс. га	запас, млн м ³
Молодняки 1-го класса	25,1	0,29	26,2	0,30	20,0	0,21
Молодняки 2-го класса	39,7	1,82	38,3	1,79	33,2	1,94
Средневозрастные	353,9	52,40	353,4	52,45	322,2	47,68
Приспевающие	112,2	22,41	109,7	21,86	118,6	23,86
Спелые	78,3	15,28	74,7	14,31	166,2	34,74
Перестойные	6,3	1,10	5,9	1,03	8,8	1,51
Итого	615,5	93,30	608,2	91,74	669,0	109,94

Т а б л и ц а 2

Характеристика укрупненных групп лесных страт

Characteristics of enlarged groups of forest strata

Название укрупненной группы лесной страты	Площадь укрупненной группы страт, га	Количество страт в укрупненной группе	Средний состав группы	Средний запас древесины в группе, м ³ /га
Ельник липовый (С ₂ , С ₃)	4009,7	6	7Б2Е1Ос+Лп	91
Ельник черничный (С ₂ , С ₃)	807,6	8	7Б2Е1Ос+Лп	75
Ельник широколиственный (Д ₃)	512,6	6	7Б3Е+С+Ос	66
Сосняк липовый (С ₂ , С ₃)	2069,4	11	7Б1Е1Лп1С+Ос	54
Сосняк черничный (В ₃)	271,1	2	7Б2Е1Ос+С+Ос	79
Ельник кисличный (С ₂ , С ₃)	231,4	5	7Б2Е1Ос+Лп	66

Цель работы

Цель работы — изучение производительности древостоев березы, произрастающих на территории Увинского лесничества Удмуртской Республики, расположенного в южно-таежном лесном районе таежной зоны европейской части Российской Федерации.

Материалы и методы

Материалом для исследования послужили сводные данные государственного лесного реестра по региону и глазомерно-измерительной таксации (таксационные описания) Увинского лесничества.

Группировка (стратификация) таксационных выделов проводилась по типам леса и возрастным периодам. В результате анализа таксационной характеристики лесного фонда Ува-Туклинского участкового лесничества Увинского лесничества выявлено 38 лесных страт, которые объединены в укрупненные группы (табл. 2).

По результатам проведенных работ был составлен маршрут для закладки круговых проб-

ных площадей постоянного радиуса в учетных выделах. Количество и радиус пробной площади подбирали в соответствии с требованиями выборочной таксации, которую активно используют в практике оценки лесов по всему миру [17–19], и лесоустроительной инструкции (утверждена приказом Министерства природных ресурсов России № 122 от 29.03.2018 г.).

Согласно ОСТ 56-69-83 «Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки», перечень деревьев проводится по породам, категориям технической годности и ступеням толщины. По технической годности деревья подразделяются на категории: деловые, полуделовые, дровяные, сухостойные. Помимо внешних пороков (кривизны, наличия сучков, механических повреждений) особое внимание было уделено следующим признакам: плодовым телам грибов, морозобойным трещинам, раку, отверстиям от сгнивших крупных сучьев и пасынков [21].

Общее количество круговых пробных площадей, заложенных в указанных учетных выделах составляет 115 шт.

Т а б л и ц а 3

Таксационная характеристика исследуемых объектов в Увинском лесничестве

Taxation characteristics of the studied objects in the Uvinsk forestry

Номер учетного выдела	Состав древостоя	Тип леса	Возраст преобладающей породы, лет	Полнота	Общий запас сыро-растущего леса, м ³ /га	Запас березы, м ³ /га	Наличие деловой древесины березы, %
1	9Б1Ол	Сосняк липовый	30	0,6	101	88	86,7
2	9Б1Е+Лп		40	0,9	198	185	88,9
3	4Б2С2Ос1Е		55	0,9	344	144	68,3
4	8Б2Ос+Е+Лп		55	0,4	246	181	79,6
5	5Б2Е3Ос+Лп		60	0,9	321	160	78,9
6	5Б5Е+Лп		60	0,4	84	48	89,7
7	9Б1Лп+В		65	0,9	330	276	83,3
8	6Б2Лп1Е1Ос		70	1,0	447	266	75,8
9	8Б2Е+Лп		90	0,6	223	176	85,8
10	4Б3С1Е1Ос		90	0,9	300	124	78,9
11	9Б1Е+Лп+Ол	Ельник липовый	30	1,0	147	117	80,0
12	8Б2Е+Лп+Ол		50	0,9	255	207	89,2
13	7Б3Е+Лп		60	0,9	337	236	82,5
14	5Б3Е2Ос+С		60	0,9	376	182	63,6
15	7Б2Ос1Лп+Е		70	0,9	379	263	85,4
16	9Б1Лп+Е+В		70	0,6	193	174	95,1
17	10Б+С+Ос	Ельник широколиственный	25	1,0	139	138	98,7
18	6Б3Е1Ос+Лп		50	0,9	273	157	83,1
19	5Б4Е1С+Ос		60	0,8	321	142	76,0
20	7Б3Е+Лп+В		65	0,8	236	160	79,9
21	9Б1Ос+Е+В		66	1,0	255	206	82,3
22	5Е5Б+Лп		70	0,6	224	97	66,0
23	7Б3С	Ельник черничный	50	0,3	223	158	90,0
24	8Б1Е1Ос+С		50	1,0	342	263	81,9
25	7Б2Ос1Лп+Е		60	1,0	359	229	92,0
26	5Б4Ос1Лп		65	0,7	340	181	34,0
27	8Б2Е+Ос		65	1,0	277	231	79,0
28	8Б2Е+Лп		70	0,9	325	261	83,9
29	9Б1Ос		90	1,0	288	253	98,0
30	5Е5Б		90	0,8	384	183	90,0
31	7Б2Е1С+Ос	Сосняк черничный	60	0,9	341	224	82,9
32	7Б2Е1Ос+С		70	0,7	265	166	89,5
33	8Б2Е+Ос	Ельник кисличный	55	0,8	197	145	83,9

Камеральная обработка материалов пробных площадей заключалась в определении средних таксационных показателей древостоя элемента леса, древостоя яруса, в том числе запаса древесины и процента выхода деловой древесины березы.

Результаты и обсуждение

Материалы исследования были обработаны статистически аналитическим способом в программе Excel [20], (табл. 3).

В соответствии с целью исследования, необходимо определить каково влияние типа леса, коэффициента состава и возраста древостоя элемента леса на выход деловой древесины.

Оценить влияние указанных показателей можно с помощью дисперсионного анализа.

В результате проведения анализа получили: $F_{\text{расч}} = 0,019$, $F_{\text{табл}} = 3,01$ соответственно $F_{\text{расч}} < F_{\text{табл}}$. Поэтому нулевая гипотеза не отклоняется, т. е. различия в выходе деловой древесины по типам леса несущественны.

Т а б л и ц а 4
Средние запасы высокополнотных березняков в типах леса по классам возраста
Average stocks of high density birch forests in forest types by age classes

Класс возраста	Средний запас сырорастающего леса, м ³ /га
Сосняк липовый	
1	19
2	110
3	117
4	160
5	326
6	338
7	337
Ельник липовый	
1	30
2	98
3	118
4	169
5	223
6	289
7	286
8	292
Ельник широколиственный	
2	55
3	90
4	149
5	156
6	175
7	233
8	300
Ельник черничный	
2	70
3	86
4	133
5	180
6	212
7	278

Аналогичная картина наблюдается и при определении влияния возраста на выход деловой древесины $F_{\text{расч}} = 1,03$ меньше $F_{\text{табл}} = 2,74$. т. е. различия в среднем проценте выхода деловой древесины по классам возраста незначительны.

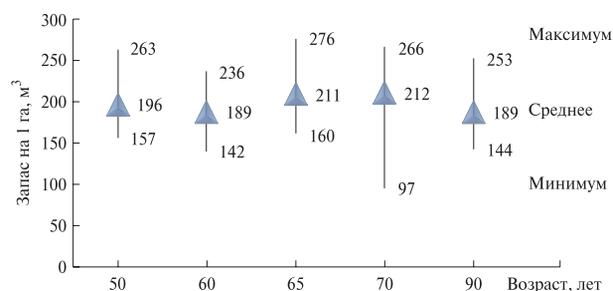
При оценке влияния доли участия березы в составе древостоя на выход деловой древесины получили следующий результат: $F_{\text{расч}} = 3,26$, $F_{\text{табл}} = 3,05$, т. е. $F_{\text{расч}} > F_{\text{табл}}$ поэтому нулевая гипотеза отвергается, т. е. существуют достоверные различия в выходе деловой древесины в

древостоях с различным составом. Наблюдается увеличение выхода деловой древесины с увеличением коэффициента состава.

По анализу запасов по типам леса с учетом коэффициента состава определено, что максимальное значение запасов отмечается во всех типах леса в возрастах 60...70 лет с коэффициентом состава 6...9 единиц.

Используя для сравнения данные общих запасов только высокополнотных древостоев, можно сделать вывод о более производительных древостоях, произрастающих в типе леса сосняк липовый, где отмечаются максимальные значения запаса на протяжении всего периода роста древостоев. Однако для полноты картины необходимо провести анализ запасов по материалам лесоустройства (табл. 4).

Сопоставляя результаты, приведенные в табл. 4, можно также сделать вывод о наиболее производительном типе леса — сосняке липовом. Остальные типы леса имеют схожую динамику изменения запаса древостоя с возрастом.



Изменение запаса древостоя элемента леса березы с возрастом

Change in growing stock of a birch forest element with age

На основании расчета запасов элемента леса березы в древостоях без учета типа леса составлен график изменения запасов по возрастам с указанием максимального, минимального и среднего значения (рисунок).

Максимальные различия в запасах наблюдаются в возрасте 70 лет и составляют 169 м³/га. В остальных возрастах размах варьирования находится в пределах 94...109 м³/га.

Выводы

Динамика площади и запасов березняков Удмуртской Республики свидетельствует об увеличении площади на 8 %, запаса на 17 % относительно 2003 г. Проведенные исследования позволяют сделать заключение о том, что влияние типа леса и возраста древостоя элемента леса на процент выхода деловой древесины незначительно. Отмечено влияние состава древостоя на выход деловой древесины,

т. е. наблюдается увеличение выхода деловой древесины с увеличением коэффициента состава. Максимальное значение запасов зафиксировано в возрастах 60...70 лет с коэффициентом состава 6...9 единиц. На основании анализа данных пробных площадей и материалов лесоустройства (таксационных описаний) выявлен наиболее производительный тип леса — сосняк липовый.

Список литературы

- [1] Абаимов В.Ф. Дендрология. М.: Издательский центр «Академия», 2009. 368 с.
- [2] Nütönen J. Stump diameter and age affect coppicing of downy birch (*Betula pubescens Ehrh.*) // *European Journal of Forest Research*, 2019, v. 138, iss. 2, pp. 345–352.
- [3] Лебедева В.Х., Тиходеева М.Ю., Ипатов В.С. Сравнительная оценка влияния деревьев на напочвенный покров в березняках черничных // *Ботанический журнал*, 2007. Т. 92. № 5. С. 681–700.
- [4] Абагуров Ю.Д. Типы березовых лесов центральной части южной тайги. М.: Наука, 1982. 155 с.
- [5] Денисов С.А. Березняки Среднего Поволжья: биология, экология и комплексное хозяйство в березняках из *B. pendula Roth.* и *B. pubescens Ehrh.*: дис. ... д-ра с.-х. наук. Йошкар-Ола: МарГТУ, 1999. 36 с.
- [6] Кравцов Е.В. Технология производства заготовок из древесины березы для домостроения: дис. ... канд. тех. наук. М.: МГУЛ, 2013. 20 с.
- [7] Юрьев Ю.Л., Гиндулин И.К., Дроздова Н.А. Варианты переработки низко сортной древесины на углеводные материалы // *ИВУЗ Лесной журнал*, 2017. № 5 (359). С. 139–149.
- [8] Bruchwald A., Misciki S., Dmyterko E. Assessment of the accuracy of the forest district inventory method based on the stratified sampling // *Sylwan*, 2017, v. 161, iss. 1, pp. 909–916.
- [9] Banas J., Drozd M., Zieba S. Improving effectiveness of forest inventory by stratified sampling // *Sylwan*, 2017, v. 161, iss. 10, pp. 804–811.
- [10] Tahvanainen T., Forss E. Individual tree models for the crown biomass distribution of Scot pine, Norway spruce and birch in Finland // *Forest Ecology and Management*, 2008, v. 255, iss. 3–4, pp. 455–467.
- [11] Cakiroglu E.O., Demir A., Aydin I. Comparison of Birch and Beech Wood in Terms of Economic and Technological Properties for Plywood Manufacturing // *Drvena industrija: Znanstveni časopis za pitanja drvne tehnologije*, 2019, v. 70, no. 2, pp. 139–174.
- [12] Попов В.К. Культуры березы. Воронеж: ВПИ, 1989. 70 с.
- [13] Малышев В.С., Поздеев Д.А., Соколов П.А. Березняки Удмуртской Республики // *Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии*, 2009. № 2 (19). С. 42–44.
- [14] Поздеев Д.А. Ход роста березняков Удмуртской Республики (на примере Балезинского лесничества) // *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.: ИПЦ «Маска», 2017. С. 87–89.
- [15] Петров А.А., Поздеев Д.А. Анализ освоения расчетной лесосеки березовой хозсекции в Удмуртской Республике // *Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии*, 2013. № 4 (37). С. 11–12.
- [16] Поздеев Д.А., Петров А.А. Использование расчетной лесосеки березовой хозсекции в Удмуртской Республике // *Леса Евразии — Белорусское Поозерье: Материалы XII Международ. конф. молодых ученых, посвященной 145-летию со дня рождения профессора Г.Ф. Морозова / под ред. В.Г. Санаева.* М.: МГУЛ, 2012. С. 98–99.
- [17] Соколов П.А., Поздеев Д.А., Малышев В.С. Точность выборочных методов таксации березняков // *Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии*, 2009. № 2 (19). С. 66–69.
- [18] Brearley F.Q., Adinugroho W.C., Camara-Leret R. Opportunities and challenges for an Indonesian forest monitoring network // *Annals of forest science*, 2019, v. 76, iss. 2, no. 54. DOI: 10.1007/s13595-019-0840-0
- [19] Загреев В.В., Сухих В.И., Швыденко А.З., Гусев И.Н., Мошкалев А.Г. Общесоюзные нормативы для таксации лесов. М.: Колос, 1992. 495 с.
- [20] Герасимов Ю.Ю., Хлюстов В.К. Математические методы и модели в расчетах на ЭВМ: применение в лесоправлении и экологии. М.: МГУЛ, 2001. 260 с.
- [21] ОСТ 56-69-83 Площади пробные лесостроительные. Метод закладки». М.: ЦБМТлесхоз, 1984. 10 с.

Сведения об авторах

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

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

Якимов Михаил Витальевич — аспирант кафедры лесоустройства и экологии, ФГБОУ ВО «Ижевская ГСХА», lesovod27@yandex.ru

Старков Максим Николаевич — аспирант кафедры лесоустройства и экологии, ФГБОУ ВО «Ижевская ГСХА», lesovod27@yandex.ru

Поступила в редакцию 31.08.2020.

Принята к публикации 05.10.2020.

BIRCH FORESTS PRODUCTIVITY IN UDMURT REPUBLIC

R.R. Absalyamov, D.A. Pozdeev, S.L. Absalyamova,
M.V. Yakimov, M.N. Starkov

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

lesovod27@yandex.ru

The results of research on the productivity of birch stands on the territory of the Udmurt Republic belonging to the region of southern taiga forests of the European part of the Russian Federation, the taiga zone are presented. The dynamics of the area and reserves of birch forests in the Udmurt Republic is analyzed. Based on the sample area data, changes in the percentage of business wood yield were revealed depending on the type of forest, the composition coefficient and the age of the forest element stand. A comparison of birch stocks growing in different types of forests is made.

Keywords: birch stands, type of forest growing conditions, selective taxation, strata, forest element stock, age structure of stands

Suggested citation: Absalyamov R.R., Pozdeev D.A., Absalyamova S.L., Yakimov M.V., Starkov M.N. *Proizvoditel'nost' bereznyakov Udmurtskoy Respubliki* [Birch forests productivity in Udmurt Republic]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 6, pp. 12–18. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-6-12-18

References

- [1] Abaimov V.F. *Dendrologiya* [Dendrology]. Moscow: Publishing Center «Academy», 2009, 368 p.
- [2] Hytönen J. Stump diameter and age affect coppicing of downy birch (*Betula pubescens* Ehrh.) // *European Journal of Forest Research*, 2019, v. 138, iss. 2, pp. 345–352.
- [3] Lebedeva V.Kh., Tikhodeeva M.Yu., Ipatov V.S. *Sravnitel'naya otsenka vliyaniya derev'ev na napochvennyy pokrov v bereznyakh chernichnykh* [Comparative assessment of the influence of trees on the ground cover in bilberry birch forests]. *Botanicheskiy zhurnal* [Botanical Journal], 2007, v. 92, no. 5, pp. 681–700.
- [4] Abaturov Yu.D. *Tipy berezovykh lesov tsentral'noy chasti yuzhnoy taygi* [Types of birch forests in the central part of the southern taiga]. Moscow: Nauka, 1982, 155 p.
- [5] Denisov S.A. *Bereznyaki Srednego Povolzh'ya: biologiya, ekologiya i kompleksnoe khozyaystvo v bereznyakh iz B. pendula Roth. i B. pubescens Erch* [Birch forests of the Middle Volga region: biology, ecology and integrated farming in birch forests from *B. pendula* Roth. and *B. pubescens* Erch]. Dis. ... Dr. Sci. (Agric.). Yoshkar-Ola: MarSTU, 1999, 36 p.
- [6] Kravtsov E.V. *Tekhnologiya proizvodstva zagotovok iz drevesiny berezy dlya domostroeniya* [Technology of production of billets from birch wood for housing construction]. Diss. Sci. Cand. (Agric.). M.: MGUL, 2013, 20 p.
- [7] Yur'ev Yu.L., Gindulin I.K., Drozdova N.A. *Varianty pererabotki nizkosortnoy drevesiny na uglerodnye materialy* [Options for processing low-grade wood into carbon materials]. *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2017, no. 5 (359), pp. 139–149.
- [8] Bruchwald A., Misciki S., Dmyterko E. Assessment of the accuracy of the forest district inventory method based on the stratified sampling // *Sylwan*, 2017, v. 161, iss. 1, pp. 909–916.
- [9] Banas J., Drozd M., Zieba S. Improving effectiveness of forest inventory by stratified sampling // *Sylwan*, 2017, v. 161, iss. 10, pp. 804–811.
- [10] Tahvanainen T., Forss E. Individual tree models for the crown biomass distribution of Scot pine, Norway spruce and birch in Finland // *Forest Ecology and Management*, 2008, v. 255, iss. 3–4, pp. 455–467.
- [11] Cakiroglu E.O., Demir A., Aydin I. Comparison of Birch and Beech Wood in Terms of Economic and Technological Properties for Plywood Manufacturing // *Drvna industrija: Znanstveni časopis za pitanja drvne tehnologije*, 2019, v. 70, no. 2, pp. 139–174.
- [12] Popov V.K. *Kul'tury berezy* [Birch plantings]. Voronezh: VPI, 1989, 70 p.
- [13] Malyshev V.S., Pozdeev D.A., Sokolov P.A. *Bereznyaki Udmurtskoy Respubliki* [Birch forests of the Udmurt Republic]. *Vestnik Izhevskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [Bulletin of the Izhevsk State Agricultural Academy], 2009, no. 2 (19), pp. 42–44.
- [14] Pozdeev D.A. *Khod rosta bereznyakov Udmurtskoy Respubliki (na primere Balezinskogo lesnichestva)* [Progress growth birch of the Udmurt Republic (on the example Balezinskiy forestry)]. *Lesa Evrazii — Lesa Povolzh'ya. Materialy XVII Mezhdunar. konf. molodykh uchenykh, posvyashchennoy 150-letiyu so dnya rozhdeniya professora G.F. Morozova, 95-letiyu Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta i Godu ekologii v Rossii* [Eurasian Forests — Forests of the Volga Region: Materials of the XVII International Conference of Young Scientists, dedicated to the 150-th Anniversary of Professor G.F. Morozov, 95-th anniversary of Kazan State Agricultural University and to the Year of Ecology in Russia.], Kazan', 22–28 October 2017. Moscow: IPC «Maska», 2017, pp. 87–89.
- [15] Petrov A.A., Pozdeev D.A. *Analiz osvoeniya raschetnoy lesoseki berezovoy khozsektcii v Udmurtskoy Respublike* [Analysis of the development of the allowable cut of the birch farm section in the Udmurt Republic]. *Vestnik Izhevskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [Bulletin of the Izhevsk State Agricultural Academy], 2013, no. 4 (37), pp. 11–12.
- [16] Pozdeev D.A., Petrov A.A. *Ispol'zovanie raschetnoy lesoseki berezovoy khozsektcii v Udmurtskoy Respublike* [The use of the allowable cut of the birch farm section in the Udmurt Republic]. *Lesa Evrazii — Belorusskoe Poozer'e: Materialy XII Mezhdunarodnoy konferentsii molodykh uchenykh, posvyashchennoy 145-letiyu so dnya rozhdeniya professora G.F. Morozova* [Eurasian Forests — Belarusian Lake District (Belorusskoye Poozerie): Materials Of the XII International Conference of Young Scientists, dedicated to 145th anniversary from the date of Prof. G.F. Morozov's birth. M.: MSFU, 2012.] Ed. V.G. Sanaev. Moscow: MGUL, 2012, pp. 98–99.

- [17] Sokolov P.A., Pozdeev D.A., Malyshev V.S. *Tochnost' vyborochnykh metodov taksatsii bereznyakov* [Accuracy of sampling methods for taxation of birch forests]. *Vestnik Izhevskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [Bulletin of the Izhevsk State Agricultural Academy], 2009, no. 2 (19), pp. 66–69.
- [18] Brearley F.Q., Adinugroho W.C., Camara-Leret R. Opportunities and challenges for an Indonesian forest monitoring network // *Annals of forest science*, 2019, v: 76, iss. 2, no. 54. DOI: 10.1007/s13595-019-0840-0
- [19] Zagreev V.V., Sukhikh V.I., Shvydenko A.Z., Gusev I.N., Moshkalev A.G. *Obshchесоюзные нормативы для тaksatsii лесов* [All-Union Standards for Forest Taxation]. Moscow: Kolos, 1992, 495 p.
- [20] Gerasimov Yu.Yu., Hlyustov V.K. *Matematicheskie metody i modeli v raschyotah na EVM: primeneniye v lesoupravlenii i ekologii* [Mathematical methods and models in computer calculations: application in forest management and ecology]. Moscow: MSFU, 2001, 260 p.
- [21] *OST 56-69-83 Ploshchadi probnye lesoustroitel'nye. Metod zakladki* [OST 56-69-83 Forest inventory test areas. Bookmark method]. Moscow: TsBMTleskhov, 1984, 10 p.

Authors' information

Absalyamov Rafael' 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

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

Yakimov Mikhail Vital'evich — Post-graduate student of the Department of Forest management and ecology, Izhevsk State Agricultural Academy, lesovod27@yandex.ru

Starkov Maksim Nikolaevich — Post-graduate student of the Department of Forest management and ecology, Izhevsk State Agricultural Academy, lesovod27@yandex.ru

Received 31.08.2020.

Accepted for publication 05.10.2020.

ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ДРЕВОСТОЕВ, СФОРМИРОВАВШИХСЯ НА ЗЕМЛЯХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

С.Е. Грибов, С.А. Корчагов, Р.С. Хамитов, И.В. Евдокимов

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

griboff.s.e@mail.ru

Приводятся результаты исследований продуктивности древостоев, сформировавшихся на землях сельскохозяйственного назначения. Отмечено, что в настоящее время процесс зарастания древесно-кустарниковой растительностью на таких участках в различных регионах России приобрел массовый характер в связи с сокращением сельхозпредприятий. Исследования проведены на бывших сельскохозяйственных угодьях, покрытых древесной растительностью. В ходе полевых работ исследовано 4324 га бывших сельскохозяйственных угодий в пределах Белозерского и Кирилловского районов Вологодской области. Показана экономическая и экологическая целесообразность рационального и научно-обоснованного использования таких территорий для лесного хозяйства, что позволяет существенно увеличить выход деловой древесины с единицы площади и создать транспортно-доступную лесосырьевую базу.

Ключевые слова: земли, вышедшие из сельскохозяйственного пользования, продуктивность лесов, древесная и кустарниковая растительность, запас древесины, породный состав

Ссылка для цитирования: Грибов С.Е., Корчагов С.А., Хамитов Р.С., Евдокимов И.В. Производительность древостоев, сформировавшихся на землях сельскохозяйственного назначения // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 6. С. 19–25. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-6-19-25

Исторически по режиму использования леса разделялись на государственные (гослесфонд), крестьянские и принадлежащие другим собственникам, имевшим свои признанные площади и границы [1].

В бывшем Советском Союзе основные лесные массивы обслуживали и контролировали государственные межхозяйственные лесхозы, а прилегающие к населенным пунктам лесные участки были отнесены к категории колхозных лесов. Они обеспечивали население и колхозы древесиной.

Действующий Лесной кодекс Российской Федерации предусматривает содержание лесов гослесфонда и сельских лесов. В современном законодательстве не учитываются прилегающие к деревням лесные участки, используемые для выпаса скота и заготовки древесины в небольших объемах для личных нужд сельских жителей, не вовлеченные в оборот участки мелиоративного фонда, заросшие сенокосы и часть неиспользуемых земель. Насаждения с деловой древесиной стали рассматриваться в одной категории с кустарником, выросшим на полях, хотя средний возраст насаждений в большинстве таких участков составляет 65...80 лет и древесина достигла возраста спелости.

В настоящее время участки, на которых сформировался полноценный древостой, официально значатся землями сельскохозяйственного назначения. На картографических материалах они отмечены белым цветом, в отличие от гослесфонда, обозначенных различными цветами в зависимости от произрастающих в них пород. В соответствии с планами рекультивации таких

земель ценная деловая древесина заготавливается и реализуется официально как отходы.

К сожалению, до сих пор не урегулирован правовой режим лесов, расположенных на землях сельскохозяйственного назначения. Отсутствие нормативно-правовых актов об особенностях использования и сохранения лесов, расположенных на таких землях, приводит к конфликту интересов лиц, в собственности которых находятся сельскохозяйственные угодья, и контрольно-надзорных органов государственной власти.

В целях исполнения поручений Президента РФ от 1 сентября 2013 г. (поручение Пр-2039, п. 1. б) Правительством РФ Федеральным законом от 27.12.2018 № 538-ФЗ в действующий Лесной кодекс Российской Федерации внесена ст.123 «Леса, расположенные на землях сельскохозяйственного назначения», которая должна была вступить в действие 1 июля 2019 года. Однако в силу различных рамочных норм, использование указанных земель по-прежнему прямо запрещено для целей, не связанных с ведением сельского хозяйства (ст. 78 Земельного кодекса Российской Федерации).

Неиспользование территорий брошенных сельскохозяйственных угодий не оправдано ни с экономической ни с экологической точки зрения: лесоразведение на землях, вышедших из сельскохозяйственного пользования, позволило бы существенно увеличить выход деловой древесины, создать ресурсную базу для лесопользователей, избежать антропогенного вмешательства в природные лесные массивы и заповедники [2].

Процесс зарастания сельскохозяйственных угодий в различных регионах России приобрел повсеместный характер и стал обыденным в связи с сокращением числа сельхозпредприятий. Эта проблема существует и в зарубежных странах, в частности в Эстонии (Jõgiste, Vares, Sendrõs), Венгрии (Csecserits, Rédei), Румынии (Ruprecht), Чешской республике (Kopecký, Vojta,), США (Stanturf, Schweitzer, Gardiner, Meiners, Campbell, Elliott, Lobell, Fridley, Wright), Китае (Chenghua, Heping), Канаде (Meiners, Pickett, Cadenasso, Kulmatisky, Beard, Stark, Baeten, Velghe, Vanhellemont), Вьетнаме (Беляева, Данилов, Нгуен). В Великобритании экологи проявляют высокий интерес к исследованию влияния землепользования прошлых лет на формирование нынешних лесных сообществ [3].

Большинство ученых сходятся во мнении, что вовлечение постагрогенных земель в сельскохозяйственный оборот не является эффективным ни с экономической, ни с технологической точек зрения. Восстановление сельскохозяйственных угодий после формирования на них древесно-кустарниковых молодняков невозможно без дорогостоящей раскорчевки [4]. В этом случае передача заросших сельскохозяйственных угодий органам лесного хозяйства для лесовыращивания, считаем, является наиболее целесообразным.

Рациональное решение по использованию зарастающих сельскохозяйственных угодий заключается в выборе оптимального способа проведения лесовосстановительных мероприятий, обеспечивающих формирование высокопродуктивных древостоев необходимого качества. Этого можно достичь путем естественного лесовозобновления, применяя эффективные меры с помощью ведения лесокультурного производства, используя современные формы семеноводства, посредством селекции наиболее продуктивных форм древесных растений, используя высококачественный посадочный материал и современные технологии выращивания лесных культур, а также путем своевременного проведения лесохозяйственных уходов [5–7].

По данным на 2007 г., вся площадь используемых сельскохозяйственных угодий в России оценивается в 220 млн га. С 1961 г. по 2003 г. из хозяйственного оборота было выведено 58,3 млн га земель [8]. В настоящее время в России около 56 млн га земель, предназначенных для ведения сельского хозяйства в связи с их целевым назначением, оказались выведены из оборота [9]. Между тем земли, исключенные из сельскохозяйственного производства, имеют высокий биологический потенциал, доказательством чему служит формирование на них высокопродуктивных молодняков [10].

Согласно Публичному отчету Департамента сельского хозяйства и продовольственных ресурсов Вологодской области, по состоянию на 01 января 2015 г., общая площадь земель сельскохозяйственного назначения на территории Вологодской обл. составила 4504,8 тыс. га, площадь сельхозугодий — 1448,5 тыс. га, в том числе площадь пашни — 822 тыс. га, сенокосы и пастбища — 569,1 тыс. га, многолетние насаждения — 9,4 тыс. га.

По данным инвентаризации центра агрохимической службы ФГБУ ГЦАС «Вологодский», площадь неиспользованной пашни по состоянию на 01 января 2015 г. составляет 396,3 тыс. га, из них 337,2 тыс. га не используются более 10 лет, и земли заросли лесом и кустарником [11].

Анализ отчетов показывает, что посевная площадь ежегодно уменьшается: в 2016 г. она составляла 373,1 тыс. га, в 2019 г. — 351,0 тыс. га. За учетный период посевная площадь уменьшилась на 22,1 тыс. га или на 6 % [12].

Цель работы

Цель работы — определение лесоводственно-таксационных показателей древостоев, сформировавшихся на землях сельскохозяйственного назначения.

Объекты и методика исследований

Объектом исследования послужили бывшие сельскохозяйственные угодья, покрытые древесной растительностью в Белозерском и Кирилловском районах Вологодской обл. В общей сложности исследовано 116 участков общей площадью 4324 га.

Методика исследования заключалась в следующем. Первоначально проводился анализ космических фотоснимков с использованием программного обеспечения. На космоснимки была наложена квартальная сеть государственных лесничеств и дополнительно проведен анализ Публичной кадастровой карты Вологодской области, на основании чего были выявлены так называемые белые пятна, т. е. участки без определенного статуса, не закрепленные за каким-либо землепользователем. Границы участков отмечались на космоснимке, затем информация загружалась в навигатор Garmin, так определялось точное местоположение участков на местности. В дальнейшем для определения таксационных показателей были заложены круговые реласкопические площадки (более 3000 шт.), полученные по ним данные обработаны с использованием программного обеспечения «MDOL, Материально-денежная оценка лесосек». В целом методика исследований основана классическими методами лесоводства и лесной таксации.

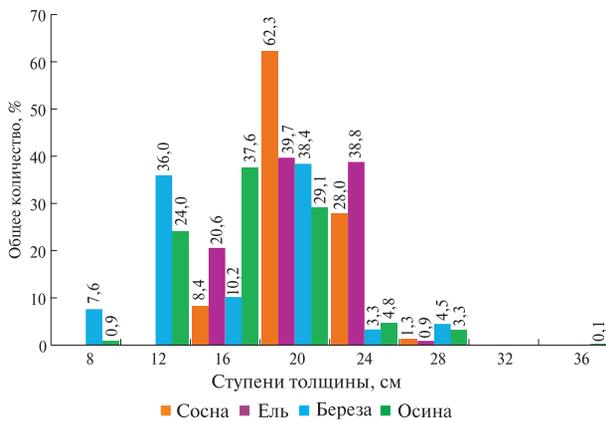


Рис. 2. Распределение деревьев по ступеням толщины (Кирилловский район)

Fig. 2. Distribution of trees by diameter class (Kirillovsky district)

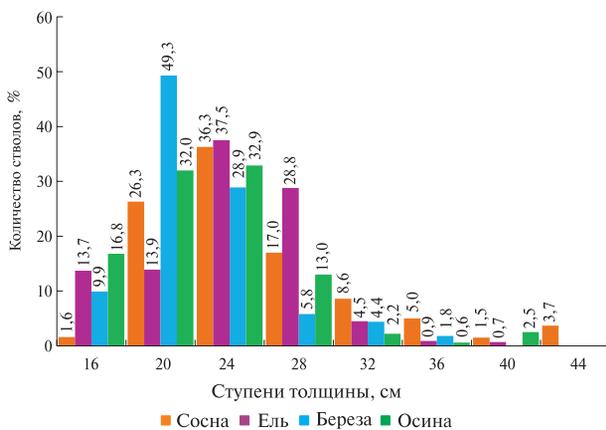


Рис. 4. Распределение деревьев по ступеням толщины (Белозерский район)

Fig. 4. Distribution of trees by diameter class (Belozersky district)

Здесь зафиксированы довольно крупные стволы, средний диаметр которых в основном более 16 см (рис. 4). Самые крупные стволы отмечены у хвойных пород. Иногда средний диаметр стволов сосны достигает 44 см. Основная доля хвойных пород представлена в ступенях толщины 24...28 см, лиственных пород — 20...24 см.

Средний диаметр стволов сосны составляет 25,8 см, это больше, чем у ели на 7 %, чем у березы — на 14,3 %, чем у осины — на 13,6 %.

Наибольшую среднюю высоту имеют стволы березы — 19,6 м. Этот показатель для сосны выше на 0,2 м, для ели — на 0,6 м, для осины — на 1,0 м. Наибольший объем стволов отмечен для сосны, наименьший — для березы (рис. 5, таблица).

Полученные результаты позволяют заключить, что на территории Вологодской обл. имеются значительные площади сельскохозяйственных угодий, которые выведены из оборота, не используются и зарастают древесной и кустар-

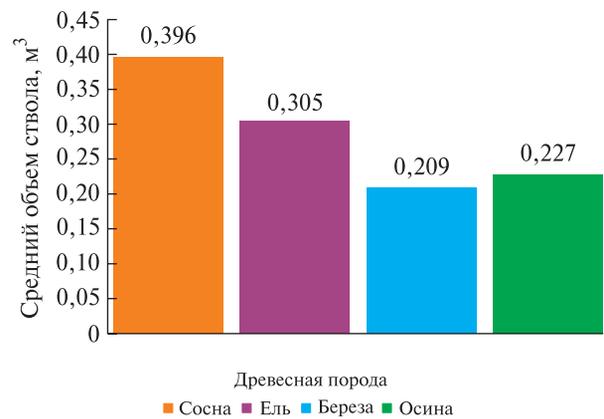


Рис. 3. Средний объем ствола древесных пород, м³ (Кирилловский район)

Fig. 3. Average trunk volume of tree species, m³ (Kirillovsky district)

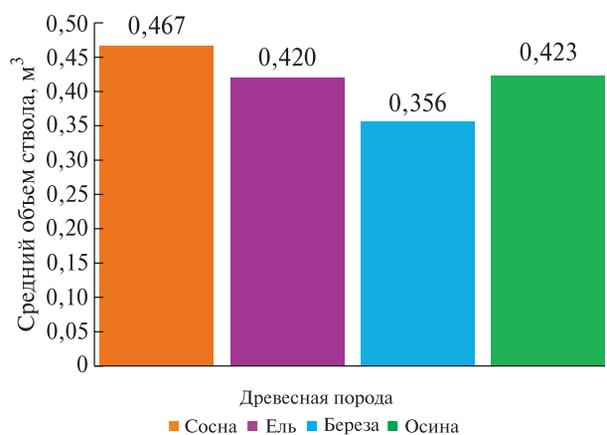


Рис. 5. Средний объем ствола древесных пород, м³ (Белозерский район)

Fig. 5. Average trunk volume of tree species, m³ (Belozersky district)

никовой растительностью. Они занимают площадь более 33 372 км² или 2,3 % общей площади региона.

Земли, вышедшие из сельскохозяйственного назначения, являются благоприятными для естественного возобновления древесных пород. За 50 лет здесь сформировались древостои со средним запасом древесины 107 м³/га. Общий запас древесины на исследованных участках составляет 463 841 м³.

Проведенные исследования подтверждают результаты исследований, полученные по Брянской [15, 16] и Архангельской областям [17].

Неиспользование территорий сельскохозяйственных угодий не оправдано ни с экономической, ни с экологической точек зрения [18–20]. Лесоразведение на землях, вышедших из сельскохозяйственного пользования, позволит существенно увеличить выход деловой древесины и создать экономически доступную лесосырьевую базу.

**Лесоводственно-таксационные показатели древостоев на землях,
вышедших из сельскохозяйственного пользования**
Silvicultural and inventory indicators of forest stands on lands not used agriculturally

Порода	Площадь, га	Средние показатели		Средний объем хлыста, м ³	Запас древесины, м ³		Состав
		Диаметр ствола, см	Высота ствола, м		на 1 га	общий	
Кирилловский район							
Сосна	21,0	20,9	17,9	0,396	113	2378	8Е+С1Б1Ос
Ель	314,5	20,8	17,6	0,305	111	34946	
Итого хвойных	335,5	20,8	17,6	0,311	111	37324	
Береза	39,9	16,3	16,7	0,209	68	2698	
Осина	25,9	16,5	19,5	0,227	105	2722	
Итого лиственных	65,8	16,4	17,8	0,216	82	5420	
Всего	401,1	20,1	17,6	0,296	107	42744	
Белозерский район							
Сосна	135,0	25,8	19,2	0,467	95	12847	4Б2Ос2Е+С
Ель	639,8	24,0	19,0	0,420	115	73324	
Итого хвойных	774,8	24,3	19,0	0,428	111	86171	
Береза	2081,1	22,1	19,6	0,356	118	246019	
Осина	1067,1	22,3	18,6	0,423	83	88907	
Итого лиственных	3148,2	22,2	19,3	0,379	106	334926	
Всего	3923,0	22,6	19,2	0,389	107	421097	

Список литературы

- [1] Юричев Е.Н. Как в Вологодской области исчезли леса на землях сельскохозяйственного назначения // Лесная газета, 2014. № 63. С. 1–2.
- [2] Аверина М.В. Вторичные сукцессии на землях из-под сельскохозяйственного пользования в средней подзоне тайги: дис. ... канд. с.-х. наук. Архангельск, 2020. 122 с.
- [3] Flinn K.M., Vellend M. Recovery of forest plant communities in post-agricultural landscapes // Front. Ecol. Environ., 2005, v. 3, no. 5, pp. 243–250. DOI: 10.1890/1540-9295(2005)003[0243:ROFPCI] 2.0.CO;2.
- [4] Рагозин М.В. Поля зарастающие лесом // Парма, 09.01.2014. № 1.
- [5] Мелехов В.И., Бабич Н.А., Корчагов С.А. Качество древесины сосны в культурах. Архангельск: АГТУ, 2003. 123 с.
- [6] Воронин Ф.Н., Пучков С.В. Успешность роста культур ели и сосны на землях, вышедших из-под сельскохозяйственного пользования в национальном парке «Лосинный остров» // Леса Евразии — Белорусское поозерье: Материалы XII Междунар. конф. молодых ученых, посвященной 145-летию со дня рождения профессора Г.Ф. Морозова, Москва, Браслав, 30 сентября–6 октября 2012 г. / под ред. В.Г. Санаева. М.: МГУЛ, 2012. С. 156–159.
- [7] Усена В.В., Крук Н.К. Состояние и перспективы плантационного лесовыращивания хвойных пород // Леса и охотничье хозяйство, 2009. № 10. С. 21–26.
- [8] Шутов И.В., Жигунов А.В. Проблемы получения древесного сырья на неиспользуемых сельскохозяйственных землях // Труды СПбНИИЛХа, 2013. Т. 3. С. 56–60.
- [9] Данилов Д.А. Выращивание древесных насаждений на постагрогенных землях: учебное пособие. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2016. 104 с.
- [10] Белоусов А.А. Культуры сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) целевого назначения на вышедших из-под сельскохозяйственного пользования земель в условиях лесного северного Заволжья: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.01. Йошкар-Ола, 2015. 213 с.
- [11] Публичный доклад о результатах деятельности Департамента сельского хозяйства и продовольственных ресурсов Вологодской области за 2015 год. Вологда, 2016. 35 с. URL: <https://vologda.bezformata.com/listnews/prodovolstvvennih-resursov-vologodskoj/43187606/> (дата обращения 09.09.2020).
- [12] Публичный доклад о результатах деятельности Департамента сельского хозяйства и продовольственных ресурсов Вологодской области за 2019 год. Вологда, 2019. 66 с. URL: <https://agro.gov35.ru/dokumenty/2020/%D0%94%D0%BE%D0%BA%D0%BB%D0%B0%D0%B4%202019%2027.01%D0%BE%D0%B1%D0%BD.pdf> (дата обращения 09.09.2020).
- [13] Лесохозяйственный регламент Кирилловского лесничества Вологодской области. Вологда, 2018. 132 с. URL: <https://www.garant.ru/doc/1122275/> (дата обращения 09.09.2020).
- [14] Лесохозяйственный регламент Белозерского лесничества Вологодской области. Вологда, 2018. 127 с. URL: <http://docs.cntd.ru/document/550247728> (дата обращения 09.09.2020).
- [15] Балашкевич Ю.А. Изменение состава и густоты естественного возобновления на неиспользуемых сельскохозяйственных землях // Леса Евразии — Брянский лес: Материалы XI Междунар. конф. молодых ученых, посвященных 80-летию Брянской инженерно-технологической академии и профессору В.П. Тимофееву, Москва, 12–18 сентября 2011 г. Москва: МГУЛ, 2011. С. 37–40.
- [16] Перепечина Ю.И., Глушенков О.И., Корсиков Р.С. Учет и оценка лесов, возникших на сельскохозяйственных землях, с использованием дистанционного зондирования земли // Лесной журнал, 2016. № 4. С. 71–80.

- [17] Карабан А.А. О возможности использования сельскохозяйственных земель, вышедших из оборота, для создания лесных насаждений в условиях Европейского Севера // Экологические проблемы Арктики и северных территорий: межвузовский сб. науч. тр., 2012. Вып. 15. С. 146–149.
- [18] Мерзленко М.Д., Бабич Н.А. Теория и практика искусственного лесовосстановления. Архангельск: САФУ, 2011. 239 с.
- [19] Восстановление и мониторинг природной флоры / под ред. Б.Р. Стригановой, А.А. Маслова. М.: КМК, 2010. 116 с.
- [20] Сабиров, А.Т., Капитов В.Д., Галиуллин И.Р., Кокутин С.Н. Основы экологического мониторинга природных ландшафтов. Казань: Казанский ГАУ, 2009. 68 с.

Сведения об авторах

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

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

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

Евдокимов Игорь Владимирович — канд. с.-х. наук, доцент кафедры лесного хозяйства Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Вологодская государственная молочнохозяйственная академия им. Н.В. Верещагина», igorevd1@rambler.ru

Поступила в редакцию 15.09.2020.

Принята к публикации 05.10.2020.

PRODUCTIVITY OF STANDS FORMED ON AGRICULTURAL LANDS

S.E. Gribov, S.A. Korchagov, R.S. Khamitov, I.V. Evdokimov

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Vologda State Dairy Academy named after N.V. Vereshchagin»

griboff.s.e@mail.ru

The results of research on the productivity of stands formed on agricultural land are presented. It is noted that at present the process of overgrowing with tree and shrub vegetation on such sites in various regions of Russia has become widespread due to the reduction of agricultural enterprises. The research was conducted on former agricultural land covered with woody vegetation. In the course of field work, 4,324 hectares of former agricultural land were studied within the Belozersky and Kirillovsky districts of the Vologda region. The economic and environmental expediency of rational and scientifically-based use of such territories for forestry is shown, which allows significantly increasing the yield of business wood per unit area and creating a transport-accessible forest resource base.

Keywords: lands abandoned for agricultural use, forest productivity, woody and shrubby vegetation, timber stock, species composition

Suggested citation: Gribov, S.A. Korchagov, R.S. Khamitov, I.V. Evdokimov *Proizvoditel'nost' drevostoev, sformirovavshikhsya na zemlyakh sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya* [Productivity of stands formed on agricultural lands]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 6, pp. 19–25. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-6-19-25

References

- [1] Yurichev E.N. *Kak v Vologodskoy oblasti ischezali lesa na zemlyakh sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya* [How forests on agricultural lands disappeared in the Vologda region] *Lesnaya gazeta* [Forest newspaper], 2014, no. 63, pp. 1–2.
- [2] Averina M.V. *Vtorichnye suksessii na zemlyakh iz pod sel'skokhozyaystvennogo pol'zovaniya v sredney podzone taygi* [Secondary successions on agricultural land in the middle taiga subzone]. Diss. Cand. Sci. (Agric.). Arkhangelsk, 2020, 122 p.
- [3] Flinn K.M., Vellend M. Recovery of forest plant communities in post-agricultural landscapes. *Front. Ecol. Environ.*, 2005, v. 3, no. 5, pp. 243–250. DOI: 10.1890/1540-9295(2005)003[0243:ROFPCI] 2.0.CO;2.
- [4] Ragozin M.V. *Polya zarastayushchie lesom* [Fields overgrown with forest] *Parma*, 09.01.2014. no. 1. Available at: www.psu.ru/files/docs/personalnye-stranitsy-prepodavatelej/ragozin/overgrown_forest_field.pdf (accessed 09.09.2020).
- [5] Melekhov V.I., Babich N.A., Korchagov S.A. *Kachestvo drevesiny sosny v kul'turakh* [The quality of pine wood in crops]. Arkhangelsk: AGTU, 2003, 123 p.

- [6] Voronin F.N., S.V. *Puchkov Uspeshnost' rosta kul'tur eli i sosny na zemlyakh, vyshedshikh iz-pod sel'skokhozyaystvennogo pol'zovaniya v natsional'nom parke «Losinnyy ostrov»* [The success of the growth of spruce and pine crops on lands that have come out of agricultural use in the Losinnyy Ostrov National Park] *Lesa Evrazii — Belorusskoe poozer'e: Materialy XII Mezhdunarodnoy konferentsii molodykh uchenykh, posvyashchennoy 145-letiyu so dnya rozhdeniya professora G.F. Morozova* [Forests of Eurasia - Belarusian Poozerie. Materials of the XII International Conference of Young Scientists dedicated to the 145th anniversary of the birth of Professor G.F. Morozov]. Moscow: MGUL, 2012, pp. 156–159.
- [7] Usenya V.V., Kruk N.K. *Sostoyanie i perspektivy plantatsionnogo lesovyrashchivaniya khvoynykh porod* [State and prospects of plantation forest growing of conifers]. *Lesa i okhotnich'e khozyaystvo* [Forests and hunting economy], 2009, no. 10, pp. 21–26.
- [8] Shutov I.V., Zhigunov A.V. *Problemy polucheniya drevesnogo syr'ya na neispol'zuemykh sel'skokhozyaystvennykh zemlyakh* [Problems of obtaining wood raw materials on unused agricultural land] *Trudy SPbNIIHa* [Proceedings of SPbNIIHa], 2013, v. 3, pp. 56–60.
- [9] Danilov D.A. *Vyrashchivanie drevesnykh nasazhdeniy na postagrogennykh zemlyakh* [Growing tree plantations on post-agrogenic lands]. St. Petersburg: Publishing house of Polytechnic University, 2016, 104 p.
- [10] Belousov A.A. *Kul'tury sosny obyknovnoy (Pinus sylvestris L.) tselevogo naznacheniya na vyshedshikh iz-pod sel'skokhozyaystvennogo pol'zovaniya zemlyakh v usloviyakh lesnogo severnogo Zavolzh'ya* [Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) crops for special purposes on lands released from agricultural use in the conditions of the forest northern Trans-Volga region]. Diss. Cand. Sci. (Agric.) 06.03.01. Yoshkar-Ola, 2015, 213 p.
- [11] *Publichnyy doklad o rezul'tatakh deyatel'nosti Departamenta sel'skogo khozyaystva i prodovol'stvennykh resursov Vologodskoy oblasti za 2015 god* [Public report on the results of the activities of the Department of Agriculture and Food Resources of the Vologda Region for 2015]. Vologda, 2016, 35 p. Available at: <https://vologda.bezformata.com/listnews/prodovol'stvennih-resursov-vologodskoj/43187606/> (accessed 09.09.2020).
- [12] *Publichnyy doklad o rezul'tatakh deyatel'nosti Departamenta sel'skogo khozyaystva i prodovol'stvennykh resursov Vologodskoy oblasti za 2019 god* [Public report on the results of the activities of the Department of Agriculture and Food Resources of the Vologda Region for 2019]. Vologda, 2019, 66 p. Available at: <https://agro.gov35.ru/dokumenty/2020/%D0%94%D0%BE%D0%BA%D0%BB%D0%B0%D0%B4%202019%2027.01%D0%BE%D0%B1%D0%BD.pdf> (accessed 09.09.2020).
- [13] *Lesokhozyaystvennyy reglament Kirillovskogo lesnichestva Vologodskoy oblasti* [Forestry regulations of the Kirillovskoye forestry of the Vologda region]. Vologda, 2018, 132 p. Available at: <https://www.garant.ru/doc/1122275/> (accessed 09.09.2020).
- [14] *Lesokhozyaystvennyy reglament Belozerskogo lesnichestva Vologodskoy oblasti* [Forestry regulations of the Belozerskoye forestry of the Vologda region]. Vologda, 2018, 127 p. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/550247728> (accessed 09.09.2020).
- [15] Balashkevich Yu.A. *Izmenenie sostava i gustoty estestvennogo vozobnovleniya na neispol'zuemykh sel'skokhozyaystvennykh zemlyakh* [Changes in the composition and density of natural regeneration on unused agricultural land] *Lesa Evrazii — Bryanskiy les: Materialy XI Mezhdunarodnoy konferentsii molodykh uchenykh, posvyashchennykh 80-letiyu Bryanskoy inzhenerno-tekhnologicheskoy akademii i professoru V.P. Timofeevu* [Forests of Eurasia - Bryansk forest. Materials of the XI International Conference of Young Scientists dedicated to the 80th anniversary of the Bryansk Engineering and Technology Academy and Professor V.P. Timofeev]. Moscow: MGUL, 2011, pp. 37–40.
- [16] Perepechina Yu.I., Glushenkov O.I., Korsikov R.S. *Uchet i otsenka lesov, vznikshikh na sel'skokhozyaystvennykh zemlyakh, s ispol'zovaniem distantsionnogo zondirovaniya zemli* [Accounting and assessment of forests formed on agricultural land using remote sensing of land]. *Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal)*, 2016, no. 4, pp. 71–80.
- [17] Karaban A.A. *O vozmozhnosti ispol'zovaniya sel'skokhozyaystvennykh zemel', vyshedshikh iz oborota, dlya sozdaniya lesnykh nasazhdeniy v usloviyakh Evropeyskogo Severa* [On the possibility of using agricultural land out of use to create forest plantations in the European North] *Ekologicheskie problemy Arktiki i severnykh territoriy: mezhvuzovskiy sbornik nauchnykh trudov* [Ecological problems of the Arctic and northern territories: interuniversity collection of scientific papers]. Arkhangelsk: Publishing house of NArFU, 2012, iss. 15, pp. 146–149.
- [18] Merzlenko M.D., Babich N.A. *Teoriya i praktika iskusstvennogo lesovosstanovleniya* [Theory and practice of artificial reforestation]. Arkhangel'sk: SAFU, 2011, 239 p.
- [19] *Vosstanovlenie i monitoring prirodnoy flory* [Restoration and monitoring of natural flora]. Ed. B.R. Striganovoy, A.A. Maslova. Moscow: KMK, 2010, 116 p.
- [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

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

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

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

Evdokimov Igor' Vladimirovich — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Department of Forestry of the «Vologda State Dairy Academy named after N.V. Vereshchagin», igorevd1@rambler.ru

Received 15.09.2020.

Accepted for publication 05.10.2020.

ОЦЕНКА КУЛЬТУР СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*PINUS SYLVESTRIS* L.) В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

С.Г. Глушко¹, И.Р. Галиуллин¹, Н.Б. Прохоренко², Ш.Ш. Шайхразиев¹

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

²ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», 420008, г. Казань, ул. Кремлевская, д. 18

glushkosg@mail.ru

Состояние хвойно-широколиственных лесов в районе подтаежных лесов Татарстана напрямую зависит от перспектив сохранения сосняков в составе этих лесов, в связи с чем становится актуальным искусственное лесовосстановление и повышение устойчивости лесных культур сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). Предложено принять меры по формированию условно-коренных лесов, в том числе искусственного происхождения на базе лесных культур сосны, создаваемых на значительной площади в течение нескольких десятилетий. Обращено внимание на массовое снижение полноты древостоев в сосняках искусственного происхождения по достижении ими возраста 40...60 лет. Отмечается полная гибель культур сосны или их деградация с существенным снижением полноты древостоев. Анализ хода роста культур сосны выявляет резкое падение показателей объемного прироста в 20...30-летнем возрасте. Снижение показателей объемного прироста фиксируется не только в Татарстане, но и в ряде иных регионов, расположенных преимущественно в зоне хвойно-широколиственных лесов. Предложено считать резкое падение показателей объемного прироста за признак ослабления данных древостоев, что может быть связано не только с наступлением возраста естественной спелости, но и с обострением конкурентных взаимоотношений внутри лесных сообществ. Рекомендовано практиковать интенсивный искусственный отбор в посадках сосны, проводя для этого выборочные рубки лесов «по состоянию» в целях воспроизводства и сохранения лесов.

Ключевые слова: сосновые леса, лесные насаждения, рубки леса, воспроизводство леса, комплексное земледелие

Ссылка для цитирования: Глушко С.Г., Галиуллин И.Р., Прохоренко Н.Б., Шайхразиев Ш.Ш. Оценка культур сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях Республики Татарстан // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 6. С. 26–33. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-6-26-33

Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) активно используется при производстве лесных культур в лесном фонде, в том числе в подтаежных регионах России [1–3]. Подтаежные, или хвойно-широколиственные, леса распространяются на Евразийском континенте как стороны Атлантического, так и со стороны Тихого океана. В пределах европейской части России подтаежные леса протянулись от западных границ страны до южного Урала, составляя своеобразную «прослойку» между южно-таежными и лесостепными зонами. В Республике Татарстан зона хвойно-широколиственных лесов занимает ее северную часть [4]. Культуры сосны и отчасти ели составляют основу хвойного хозяйства в Татарстане [5], имеют важное значение и их изучение актуально [6]. Интенсивное хозяйственное освоение подтаежных лесов определило задачи их эффективного восстановления [7]. Создаваемые в массовом порядке посадки сосны обыкновенной по достижении стадии средневозрастности в значительном большинстве оказываются подверженными различным заболеваниям, что снижает показатели объемного прироста, вызывает усыхание деревьев, вплоть до полной гибели древостоев. Снижение показателей объемного прироста в древостоях сосны искусственного происхождения, отмечаемое многими исследователями [8], нуждается в исследовании.

Цель работы

Цель работы — поиск причин массового повреждения лесных культур сосны обыкновенной, создаваемых в подтаежной зоне Республики Татарстан.

Материалы и методы

Работа выполнена по итогам исследования лесных монокультур сосны обыкновенной, произрастающих в пределах южной полосы хвойно-широколиственных лесов с дубом [4] преимущественно на территории Республики Татарстан. Значительная часть сосняков в современной структуре лесного фонда Среднего Поволжья искусственного происхождения. Культуры сосны создавались в течение десятилетий, особенно много культур сосны производства 1970–1980-х гг. В настоящее время эти культуры находятся на важнейшем этапе формирования лесных сообществ, смены индивидуальной формы отбора на групповую [9]. Значительная часть культур сосны в пригородах Казани и других местах проходит переломный этап своего развития (40 лет), достигнув стадии средневозрастности.

Для оценки лесов были использованы данные Лесного плана Республики Татарстан, материалы лесоустройства лесничеств, результаты маршрутно-рекогносцировочного исследования лесов и таксационные характеристики древостоев,

полученные на пробных площадях. Маршрутно-рекогносцировочное и полустационарное исследование лесов выполнено на основе методик В.Н. Сукачева [10, 11]. Типологическая принадлежность лесов определена с учетом биогеоэкологических, динамических, географо-генетических и иных типологических данных [11–13]. За ходом роста древостоев наблюдали, учитывая материалы широко известных работ Н.П. Анучина [14].

Результаты и обсуждение

Культуры сосны в молодняках отличаются хорошей приживаемостью, сохранностью, высокими показателями роста и развития. В целом хорошее состояние культур сосны (возрастом до 40 лет) ведет к тому, что рубки ухода в них проводят слабоинтенсивные или вовсе не проводят. Большинство культур сосны 2-го класса возраста имеют первый класс бонитета и относительную полноту древостоев выше 0,7 [9, 15].

Высокополнотные монодоминантные культуры сосны к 40 годам часто приобретают форму жердняка (рис. 1). Анализ модельных деревьев в таких культурах показывает снижение абсолютных среднего и среднепериодического (текущего) объемных приростов начиная с возраста 30...40 лет, что, по данным Н.П. Анучина, свидетельствует о достижении такими древостоями возраста спелости [14]. Снижение возраста рубки по хвойному хозяйству в регионе с 121 года (конец XIX в.) до 81 года (в конце XX в.) свидетельствует об интенсификации лесного хозяйства и раннем поспевании лесонасаждений. Экспериментальность как пионерное поведение можно считать адаптивной реакцией лесной биоты на условия повсеместной вырубki. Еще в середине XX в. В.С. Порфирьев предложил снизить возраст рубки в хвойном хозяйстве Республики Татарстан до 70 лет, фактически даже до 61 года [16].

Поспевание (по Н.П. Анучину) культур сосны к 40 годам приводит к преждевременной перестойности древостоев, с существенным снижением полноты и дальнейшей их гибелью (рис. 2). Факты ранней гибели культур сосны приводились неоднократно и давно [9, 15, 17, 18]. Ослабление лесов в данном случае мы связываем с резким усилением конкурентных взаимоотношений на этапе формирования лесных сообществ, когда искусственно сдерживаемые процессы получают естественное ускорение, вплоть до смены формы отбора с индивидуальной на групповую [17, 18].

Участвуя в лесоустройстве Пригородного (2011), Ислейтарского (2014), Лаишевского (2014) и Заинского (2016) лесничеств Республики Татарстан и неоторых иных регионов, авторы получили наглядное представление о состоянии и динамике лесных культур сосны, произрастающих в районе



Рис. 1. Культуры сосняков сложных кустарниковых в возрасте 45 лет. Пригородное лесничество Республики Татарстан

Fig. 1. Cultures of complex bush pine forests at the age of 45 years. Suburban forestry in the Republic of Tatarstan



Рис. 2. Культуры сосняков сложных кустарниковых в возрасте 55 лет. Пригородное лесничество Республики Татарстан

Fig. 2. Cultures of complex bush pine forests at the age of 55 years. Suburban forestry in the Republic of Tatarstan

исследований. Снижение полноты в культурах сосны по достижении ими средневозрастности фиксируется в таксационных описаниях практически всех лесничеств Республики Татарстан [9, 15]. Большая часть культур сосны в Татарстане создана на относительно богатых почвах, на месте деградированных или сведенных под пашню дубрав. В дубравных условиях посадки сосны отличаются интенсивным ростом по высоте и диаметру, высокой продуктивностью (I и Ia классов бонитета). Преобладающий тип леса для культур сосны в районе исследований — сосняк кустарниковый, тип лесорастительных условий — C_2 . В данных условиях нами были заложены пробные площади, отобраны модельные деревья и проанализированы особенности хода роста сосны (таблица).

Пробные площади были заложены в чистых лесных культурах сосны. Породный состав везде — 10 С, тип леса — сосняк кустарниковый (Ск), тип лесорастительных условий — сложная суборь (C_2), класс бонитета — I.

В возрасте культур 55 лет на пробной площади № 2-2020 произошел распад древостоя, полнота

Таксационная характеристика древостоев сосны в сосняках сложных кустарниковых

Taxation characteristics of pine stands in complex bush pine forests

Возраст, лет	Высота, м	Диаметр, см	Полнота относительная	Запас стволовой древесины, м ³ /га	Объем сухостоя, м ³ /га
Пробная площадь № 1-2020 (см. рис. 1)					
45	17,5	18,1	0,9	245,00	15,00
Пробная площадь № 2-2020 (см. рис. 2)					
55	21,0	22,3	0,4	112,00	260,00

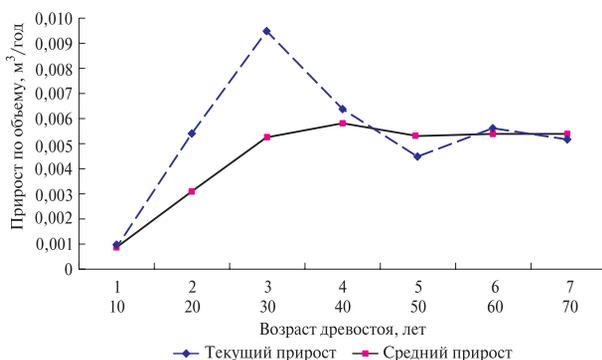


Рис. 3. Показатели объемного прироста сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в культурах сосняков кустарниковых без рубок ухода (по данным хода роста модельных деревьев)

Fig. 3. Indicators of the volume growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in the cultures of bush pine forests without thinning (according to the data on the growth of model trees)

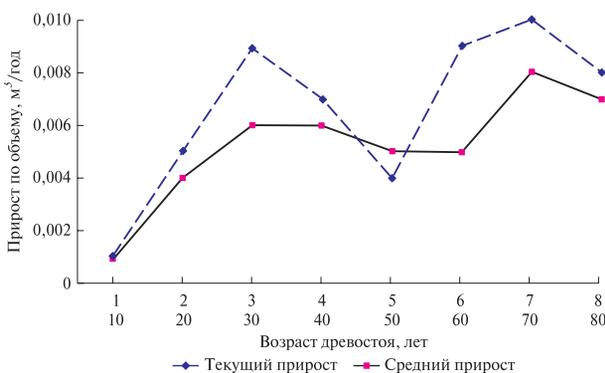


Рис. 4. Показатели объемного прироста сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в культурах сосняков кустарниковых с рубками ухода в возрасте 50 лет (по данным хода роста модельных деревьев)

Fig. 4. Indicators of the volume growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in the cultures of bush pine forests with thinning at the age of 50 years (according to the growth course of model trees)

снизилась до 0,4, запас стволовой древесины (растущих деревьев) стал значительно меньше, запас сухостоя достиг 260,00 м³/г. Из рис. 2 следует, что усыхание древостоя вызвано не лесными пожара-

ми, а другими причинами. По материалам лесоустройства Пригородного лесничества (2012), на участке отмечена корневая губка (*Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref.). Непосредственная причина распада древостоя связывается с повреждением деревьев сосны корневой губкой. С нашей точки зрения следует обратить особое внимание на неблагоприятное состояние древостоя, связанное с падением показателей абсолютного среднепериодического (текущего) и абсолютного (среднего) приростов стволовой древесины, начиная с возраста 30...40 лет.

Проанализировав ход роста модельных деревьев, мы составили обобщенные графики, показывающие особенности объемного прироста сосны в культурах сосняков кустарниковых (рис. 3, 4). Сосняки, произрастающие без должного проведения рубок ухода, по достижении ими 30-летнего возраста резко снижают показатели объемного прироста (см. рис. 3). В дальнейшем такие древостои разрушаются (см. рис. 2).

При проведении проходных рубок ухода показатели объемного прироста удается повысить и стабилизировать до наступления стадии естественной спелости, до 70–80 лет (см. рис. 4). В такой ситуации широко практикуемые проходные рубки — мера запаздывающая. Культуры сосны, произрастающие в несоответствующих дубравных условиях, по достижении 50...60-летнего возраста демонстрируют примеры эксплерентного поведения типичных пионерно-серийных лесонасаждений, с ускоренным созреванием и быстрым распадом древостоев, часто принимающим вид массового усыхания.

Снижение показателей прироста по объему в культурах сосны в возрасте 20...40 лет мы не связываем с наступлением спелости рассматриваемых древостоев. Как отмечено выше, снижение показателей объемного прироста отражает резкое ослабление отдельных деревьев и в целом древостоев и связано, по нашему мнению, с резким усилением конкурентных взаимоотношений на данном этапе формирования лесных сообществ [9, 15, 17, 18]. На относительно богатых почвах лесостепной зоны (лесорастительные условия Д₂) обострение конкурентных отношений и падение показателей объемного прироста в сосняках искусственного происхождения наблюдается в возрасте 20 лет. В лесорастительных условиях, распространенных в зоне хвойно-широколиственных лесов (С₂), падение показателей объемного прироста обычно наблюдается в возрасте 30 лет. В бедных и относительно бедных условиях (А, В) снижение показателей объемного прироста, как правило, не имеет существенного значения. Ослабление и распад культур сосны обычен в условиях подтаежных лесов и лесостепной зоны.

Технологии производства лесных культур сосны обеспечивают их высокую приживаемость и сохранность в течение ревизионного периода вплоть до перевода в покрытую лесом площадь. В молодняках сосны естественного происхождения естественный отбор уничтожает значительную часть всходов-проростков, молодых растений. В культурах сосны естественный отбор не предусматривается технологиями их создания и практически устранен в течение всего 1-го класса возраста. Культуры хвойных пород часто создаются несколько загущенными, чтобы устранить подселение мягколиственных пород естественного происхождения. В оптимальных для сосняков подтаежных условиях молодняки сосны интенсивно растут и развиваются первые 20 лет жизни (1-й класс возраста). Начиная примерно с 20-летнего возраста в условиях интенсивного формирования лесных сообществ конкурентные взаимоотношения в культурах сосны резко обостряются, что и находит свое выражение в падении показателей объемного прироста, а в дальнейшем к ослаблению и гибели древостоев сосны [9, 17].

Для спасения ослабленных культур сосны необходимо своевременное проведение рубок ухода, хотя такие рубки не предусматривают спасение леса, поэтому в загущенных культурах сосны после 40 лет проводят санитарные рубки, часто сплошные, вследствие внезапного развития корневой губки. Внезапная гибель 50...60-летних ослабленных культур сосны стала вполне обычной для региона, и разгребание погибших древостоев под видом санитарных рубок тоже вполне обычно. Такое лесное хозяйствование нельзя признавать нормальным. В последнее десятилетие мы настоятельно рекомендуем изменить практикуемые лесоводственные меры ухода за культурами сосны в Республике Татарстан [9, 15, 17, 18], в частности:

1. Рубки сосны в условиях лесоплантационного хозяйства. Ведение плантационного хозяйства направлено на ускоренное выращивание лесов. Плантации сосны по достижении 40...45-летнего возраста, должны отводиться в сплошную рубку в целях заготовки товарного леса. В эксплуатационных лесах региона возможно ведение высокоинтенсивного товарного хозяйства на основе широкого применения лесоплантационных форм лесного хозяйствования, с выращиванием сосны и таких быстрорастущих пород, как лиственница, береза, осина, тополь.

2. Рубки формирования устойчивых защитных насаждений сосны. В лесах защитного значения лесное хозяйствование ориентировано на формирование устойчивых древостоев — так называемых условно-коренных лесов. Повышение устойчивости культур сосны предлагается путем



Рис. 5. Культуры сосны в возрасте 27 лет с кулисами березы в возрасте 7 лет. Ислейтарское лесничество Республики Татарстан

Fig. 5. Pine cultures at the age of 27 years with birch coulisse at the age of 7 years. Isleitar forestry in the Republic of Tatarstan

производства данных культур в смешении с березой при кулисном размещении посадок сосны и березы несколькими чистыми рядами (см. рис. 5). Формирование устойчивого соснового древостоя достигается и рубками ухода — проведением прочисток (в возрасте 11...20 лет). В рубку отводятся по два-три ряда сосны. Распространение корневой губки сдерживается рубленными кулисами, в которых обычно появляется самосев березы. По достижении культурами сосны 40-летнего возраста, мы получаем смешанный березово-сосновый сложный (20-летняя береза и 40-летняя сосна) относительно устойчивый древостой.

3. Рубки при комплексном хозяйстве в сосняках региона. Выбор сосны в качестве объекта наших исследований обусловлен возможностью ведения в сосняках комплексного хозяйства [9, 19]. В культурах сосны 2-го класса возраста возможна заготовка значительных объемов древесины при использовании элементов лесоплантационного хозяйства. По мере выполнения выборочных рубок создаются условия для дальнейшего формирования древостоев сосны, достигающих 81...100-летнего возраста. Для монокультур сосны со своевременными и качественно выполненными прореживаниями графики прироста по объему имеют вид «двугорбой кривой» со снижениями показателей в период 30...40 лет и дальнейшим усилением абсолютного среднего и текущего прироста вплоть до расчетных 80...90 лет (см. рис. 4).

Комплексное хозяйство в культурах сосны предполагает заготовку товарной древесины в молодняках 2-го класса возраста с последующим формированием из оставшегося после выборочной рубки древостоя устойчивого леса, оптимально выполняющего защитные функции. Иначе говоря, комплексное хозяйство в сосняках предполагает сочетание приемов лесоплантационного хозяйства на стадии молодняков, с переходом на

формирование долговечных условно-коренных защитных лесов на старших стадиях (приспевания — спелости) возрастного развития сосновых лесов. Устойчивость сосняков характерна для типов лесорастительных условий A_1 , B_1 , C_1 , но и в условиях C_2 сосняки региона могут сохранять долговечность. Даже в несоответствующих соснякам условиях отмечаются участки устойчиво-производных сосняков с затянутыми длительно-восстановительными сменами.

4. Рубки воспроизводства по состоянию в культурах сосны. Проведение рубок ухода есть норма лесного хозяйствования, однако имеет место и нормоприменительная практика. Рубки ухода проводят в здоровых лесах, отсюда и спокойное отношение к фактам недостаточно интенсивного проведения рубок ухода в культурах. Высокополнотные монокультуры сосны в возрасте 40 лет производят внешне благоприятное впечатление (см. рис. 1), указания на перестойно-предсмертное состояние их древостоев и необходимости срочного проведения санитарных рубок не воспринимаются. Предложения проводить рубки ухода в первую очередь, также не находят должного понимания. В этой связи предлагается включить в лесоводственные меры ухода за культурами сосны рубки спасения, или воспроизводства.

Для целей воспроизводства сосняков в культурах необходима срочная организация рубок воспроизводства (спасения), имеющих промежуточный статус между классическими рубками ухода и санитарными рубками. Фактически рекомендуемые нами рубки воспроизводства — это мероприятие по спасению широко распространенных монодоминантных, высокополнотных культур сосны, уже достигших 30...40-летнего возраста. В монодоминантных высокополнотных культурах сосны по достижении ими 2-го класса возраста выборочные рубки спасения — воспроизводства назначаются в срочном порядке, так же, как раньше, лесоустроители назначали срочную рубку по состоянию леса, проставляя в соответствующие таксационные описания красного цвета букву «Р». Технология лесосечных работ на рубках воспроизводства по состоянию культур сосны в целом должна совпадать с технологией на рубках прореживания при существенно увеличенной интенсивности вырубки, обеспечивающей снижение относительной полноты древостоев до 0,5–0,6.

Лесовосстановление в условиях массового разрушения лесной биоты имеет существенные отличия от восстановительных процессов, которые происходят в сохраняющих устойчивость лесах. Хвойно-широколиственные леса европейской части России расположены в хорошо освоенных регионах, к которым относится и Республика

Татарстан. Здесь в 1960–2000 гг. были созданы посадки сосны, имеющие высокое хозяйственное и защитное значение. Их выращивание, сохранение и рациональное использование требуют должного научного обоснования.

Выводы

Хвойно-широколиственные леса Приволжского и иных лесорастительных районов постепенно деградируют по причине устойчивой смены хвойных пород на лиственные. Коренные полидоминантные хвойно-широколиственные леса утрачивают устойчивость, заменяются лиственными [17–19]. Сохранение полидоминантных хвойно-широколиственных лесов возможно путем создания в регионе устойчивых культур сосны при условии ведения в них комплексного хозяйства, проведения интенсивных рубок (искусственный отбор), обеспечивающих последующее естественное подселение в формируемые лесные сообщества различных лесообразующих пород. Сосняки искусственного происхождения при соответствующем уходе обогащаются лиственными породами (березой, липой, дубом) и могут быть достаточно долговечными. Необходима организация работ по реконструкции лесного фонда и обеспечению устойчивости сосняков в составе хвойно-широколиственных подтаежных лесов региона [9, 18, 20].

Сосняки обычны для зоны хвойно-широколиственных лесов и способны участвовать в формировании полидоминантных лесов. Под пологом сосны поселяются липа, дуб, другие породы, заменяющие сосну на богатых почвах. В условиях недостаточного увлажнения, на песчаных почвах, в сосняках под материнским пологом образуется подрост, и динамика сосны происходит без смены главной породы. В связи с особенностями сосняков воспроизводство региональных хвойно-широколиственных лесов может быть связано именно с искусственным воспроизводством сосны. Хвойно-широколиственные леса в Среднем Поволжье в связи с массовым усыханием ельников утрачивают устойчивость, особенно в своей, более южной, полосе. Сохранение хвойно-широколиственных лесов в значительной степени связано с повышением устойчивости сосны в составе лесов региона.

Своевременные рубки в высокополнотных молодняках сосны обыкновенной искусственного происхождения позволяют снять остроту конкурентных взаимоотношений, возникающих в период формирования лесных сообществ. Устойчивость позиций хвойного компонента можно достигнуть за счет своевременного проведения выборочных рубок (по состоянию) в культурах сосны при комплексной форме лесного хозяйства,

которая обеспечивает устойчивое воспроизводство данной породы в составе хвойно-широколиственных лесов региона.

Список литературы

- [1] Тишков А.С., Мерзленко М.Д., Мельник П.Г. Рост и производительность культур ели разной густоты посадки в условиях северо-западного Подмосковья // Лесное хозяйство. Материалы докладов 84-й науч.-техн. конф., посвященной 90-летию БГТУ и Дню белорусской науки (с международным участием), Минск, 03–14 февраля 2020 г. Минск: Белорусский государственный технологический университет, 2020. С. 150–151.
- [2] Рунова Е.М., Зародов Л.А. Эффективность создания лесных культур сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) посевом на территории Иркутской области // Актуальные проблемы лесного комплекса, 2014. № 38. С. 157–160.
- [3] Мерзленко М.Д., Глазунов Ю.Б., Мельник П.Г. Результаты выращивания провенциенций сосны обыкновенной в географических посадках Серебряноборского опытного лесничества // Лесоведение, 2017. № 3. С. 176–182.
- [4] Курнаев С.Ф. Лесорастительное районирование подзоны южной тайги и хвойно-широколиственных лесов европейской части СССР. М.: МЛТИ, 1958. 22 с.
- [5] Бедертдинов 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 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. 15–20.
- [6] Мерзленко М.Д., Бабич Н.А. Теория и практика выращивания сосны и ели в культурах. Архангельск: АГТУ, 2002. 220 с.
- [7] Мерзленко М.Д., Бабич Н.А. Теория и практика искусственного лесовосстановления. Архангельск: САФУ, 2011. 239 с.
- [8] Данчева А.В., Залесов С.В. Влияние рекреации на состояние основных древостоев Казахского мелкосопочника // Аграрный вестник Урала, 2017. № 5 (159). С. 3.
- [9] Глушко С.Г., Прохоренко Н.Б. Особенности происхождения, состава, структуры и динамики сосняков, определяющие их устойчивость в пригородах Казани // Лес, лесной сектор и экология. Материалы Всерос. науч.-практ. конф. Казань: Изд-во Казанского ГАУ, 2012. С. 23–28.
- [10] Основы лесной биогеоценологии / Под ред. В.Н. Сукачева, Н.В. Дылиса. М.: Наука, 1964. 574 с.
- [11] Сукачев В.Н. Программа и методика биогеоценологических исследований. М.: Наука, 1966. 334 с.
- [12] Колесников Б.П. Кедровые леса Дальнего Востока. М.;Л.: Изд-во АН СССР, 1956. 261 с.
- [13] Мерзленко М.Д. Лесокультурная оценка эдафической сетки // Леса Евразии — сербские леса: Материалы XVIII Междунар. конф. молодых ученых, посвященной академику профессору Жарку Милетицу (1891–1968), Белград, 23–29 сентября 2018 г. Белград: Белградский государственный университет, 2019. С. 174–177.
- [14] Анучин Н.П. Лесная таксация. М.: Лесная пром-сть, 1982. 552 с.
- [15] Прохоренко Н.Б., Глушко С.Г. Показатели хода роста сосняков искусственного происхождения в Республике Татарстан // Инновационное развитие агропромышленного комплекса: Материалы Всерос. науч.-практ. конф. Том 77. Ч. 2. Казань: Изд-во Казанского ГАУ, 2010. С. 338–340.
- [16] Порфирьев В.С. Елово-широколиственные леса Раифы // Тр. об-ва естествоиспытателей при Казанском университете. Т. 64. 1961. С. 63–145.
- [17] Галиуллин И.Р., Глушко С.Г., Сайтов И.Р. Деградация лесов в регионе Среднего Поволжья и ее исследование // Современные аспекты сохранения биоразнообразия и пользования природными ресурсами. Вып. 1. Казань: Изд-во Казанского ГАУ, 2011. С. 610.
- [18] Глушко С.Г. Проблемы реконструкции лесов Среднего Поволжья // Инновационное развитие агропромышленного комплекса: Материалы Всерос. науч.-практ. конф. Т. 77. Ч. 2. Казань: Изд-во Казанского ГАУ, 2010. С. 325–328.
- [19] Гаянов А.Г. Леса и лесное хозяйство Татарстана. Казань: ПИК «Идел-Пресс», 2001. 240 с.
- [20] Аглиуллин Ф.В., Мурзов А.И. Рекомендации по ведению лесного хозяйства Татарской АССР на зонально-типологической основе. М.: ВНИИЛМ, 1986. 46 с.

Сведения об авторах

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

Галиуллин Ильфир Равилович — канд. с.-х. наук, доцент кафедры таксации и экономики лесной отрасли ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», ilfir.79@mail.ru

Прохоренко Нина Борисовна — канд. биол. наук, доцент кафедры ботаники и физиологии растений ФГАУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», nbprokhorenko@mail.ru

Шайхразиев Шамиль Шайхенурович — канд. с.-х. наук, доцент кафедры лесоводства и лесных культур ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», Shaihrazievsh@mail.ru

Поступила в редакцию 10.08.2020.

Принята к публикации 23.09.2020.

SCOTS PINE (*PINUS SYLVESTRIS* L.) CULTIVATION IN REPUBLIC OF TATARSTAN

S.G. Glushko¹, I.R. Galiullin¹, N.B. Prokhorenko², Sh.Sh. Shaikhraziev¹

¹Kazan State Agrarian University, 25, K. Marx st., 420015, Kazan, Russia

²Kazan (Volga region) Federal University, 18, Kremlin st., 420008, Kazan, Russia

glushkosg@mail.ru

The state of coniferous-deciduous forests in the region of the subtaiga forests in Tatarstan directly depends on the prospects for preserving pines in the composition of these forests that is why the artificial forest regeneration and increasing the sustainability of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) becomes relevant. It is proposed to take measures for the formation of nominally primary forests, including those of artificial origin, based on pine forests, planted over a large area for several decades. Attention is drawn to the massive decrease in the density of stands in pine forests of artificial origin after they reach the age of 40...60 years. There is a complete death of pine crops or their degradation with a significant decrease in the density of forest stands. Analysis of the course of growth of pine crops reveals a sharp drop in volume growth rates at 20...30 years of age. A decrease in volume growth rates is recorded not only in Tatarstan, but also in a number of other regions located mainly in the zone of coniferous-deciduous forests. It is proposed to consider a sharp drop in volume growth rates as a sign of weakening of these stands, which may be associated not only with the onset of the age of natural maturity, but also with the aggravation of competitive relationships within forest communities. It is recommended to practice intensive artificial selection in pine plantations, for this purpose selection cutting of forests "according to state" in order to reproduce and preserve forests.

Keywords: pine forests, forest plantations, forest felling, forest reproduction, integrated farming

Suggested citation: Glushko S.G., Galiullin I.R., Prokhorenko N.B., Shaikhraziev Sh.Sh. *Otsenka kul'tur sosny obyknovennoy (Pinus sylvestris L.) v usloviyakh Respubliki Tatarstan* [Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) cultivation in Republic of Tatarstan]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 6, pp. 26–33.

DOI: 10.18698/2542-1468-2020-6-26-33

References

- [1] Tishkov A.S., Merzlenko M.D., Mel'nik P.G. *Rost i proizvoditel'nost' kul'tur eli raznoy gustoty posadki v usloviyakh severo-zapadnogo Podmoskov'ya* [Growth and productivity of spruce crops of different planting densities in the northwestern Moscow region]. *Lesnoe khozyaystvo. Materialy dokladov 84-y nauch.-tekhnich. konf., posvyashchennoy 90-letnemu yubileyu BGТУ i Dnyu belorusskoy nauki (s mezhdunarodnym uchastiem)* [Forestry. Materials of reports of the 84th scientific and technical conference dedicated to the 90th anniversary of BSTU and the Day of Belarusian Science (with international participation)], Minsk, 03–14 February 2020. Minsk: Belarusian State Technological University, 2020, pp. 150–151.
- [2] Runova E.M., Zarodov L.A. *Effektivnost' sozdaniya lesnykh kul'tur sosny obyknovennoy (Pinus sylvestris L.) posevom na territorii Irkutskoy oblasti* [Efficiency of creation of forest cultures of the pine ordinary (*Pinus sylvestris* L.) crops in the territory of the Irkutsk region]. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa* [Actual problems of the forestry complex], 2014, no. 38, pp. 157–160.
- [3] Merzlenko M.D., Glazunov Yu.B., Mel'nik P.G. *Rezultaty 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.
- [4] Kurnaev S.F. *Lesorastitel'noe rayonirovanie podzony yuzhnoy taygi i khvoyno-shirokolistvennykh lesov evropeyskoy chasti SSSR* [Forest-growing zoning of the subzone of the southern taiga and coniferous-deciduous forests of the European part of the USSR]. Moscow: MLTI, 1958, 22 p.
- [5] 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]. *Lesna Evrazii — lesa Povolzh'ya: Materialy XVII Mezhdunar. konf. molodykh uchenykh, posvyashchennoy 150-letiyu so dnya rozhdeniya professora G.F. Morozova, 95-letiyu Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta i Godu ekologii v Rossii* [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: IPC Maska, 2017, pp. 15–20.
- [6] Merzlenko M.D., Babich N.A. *Teoriya i praktika vyrashchivaniya sosny i eli v kul'turakh* [Theory and practice of growing pine and spruce in crops]. Arhangelsk, 2002. 220 p.
- [7] Merzlenko M.D., Babich N.A. *Teoriya i praktika vyrashchivaniya sosny i eli v kul'turakh* [Theory and practice of artificial reforestation]. Arkhangel'sk: SAFU, 2011, 239 p.
- [8] Dancheva A.V., Zalesov S.V. *Dancheva A.V., Zalesov S.V. Vliyanie rekreatsii na sostoyanie sosnovykh drevostoev Kazakhskogo melkosopochnika* [Influence of recreation on the state of pine stands of the Kazakh Upland] // *Agrarnyy vestnik Urala* [Agrarian Bulletin of the Urals], 2017, no. 5 (159), p. 3.
- [9] Glushko S.G., Prokhorenko N.B. *Osobennosti proiskhozhdeniya, sostava, struktury i dinamiki sosnyakov, opredelyayushchie ikh ustoychivost' v prigorodakh Kazani* [Features of the origin, composition, structure and dynamics of pine forests that determine their stability in the suburbs of Kazan]. *Les, lesnoy sektor i ekologiya. Materialy Vseros. nauch.-praktich. konf.* [Forest, forest sector and ecology. Materials of the All-Russian scientific-practical conference]. Kazan: Publishing house of Kazan State Agrarian University, 2012, pp. 23–28.

- [10] *Osnovy lesnoy biogeotsenologii* [Fundamentals of forest biogeocenology]. Ed. V.N. Sukachev, N.V. Dylis. Moscow: Nauka, 1964, 574 p.
- [11] Sukachev V.N. Programma i metodika biogeotsenologicheskikh issledovaniy [Program and methodology of biogeocenological studies]. Moscow: Nauka, 1966, 334 p.
- [12] Kolesnikov B.P. *Kedrovye lesa Dal'nego Vostoka* [Cedar forests of the Far East]. Moscow-Leningrad: Publishing house of the Academy of Sciences of the USSR, 1956, 261 p.
- [13] Merzlenko M.D. *Lesokul'turnaya otsenka edaficheskoy setki* [Forest cultural assessment of the edaphic netting] Lesa Evrazii — serbskie lesa: Materialy XVIII Mezhdunar. konf. 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.
- [14] Anuchin N.P. *Lesnaya taksatsiya* [Forest taxation]. Moscow: Lesnaya prom-st' [Forest industry], 1982, 552 p.
- [15] Prokhorenko N.B., Glushko S.G. *Pokazateli khoda rosta sosnyakov iskusstvennogo proiskhozhdeniya v Respublike Tatarstan* [Indicators of the course of growth of pine forests of artificial origin in the Republic of Tatarstan]. Innovatsionnoe razvitiye agropromyshlennogo kompleksa: Materialy Vseros. nauch.-praktich. konf. [Innovative development of the agro-industrial complex: Materials of the All-Russian scientific and practical conference]. t. 77. p. 2. Kazan: Publishing house of Kazan GAU, 2010, pp. 338–340.
- [16] Porfir'ev V.S. *Elovo-shirokolistvennye lesa Raify* [Spruce-broad-leaved forests of Raifa]. Trudy obshchestva estestvoispytateley pri Kazanskom universitete [Proceedings of the Society of Naturalists at Kazan University]. t. 64. 1961, pp. 63–145.
- [17] Galiullin I.R., Glushko S.G., Saitov I.R. *Degradatsiya lesov v regione Srednego Povolzh'ya i ee issledovanie* [Forest degradation in the Middle Volga region and its study]. Sovremennyye aspekty sokhraneniya bioraznoobraziya i pol'zovaniya prirodnyimi resursami [Modern aspects of biodiversity conservation and use of natural resources. Materials of the All-Russian scientific-practical conference]. Iss. 1. Kazan: Publishing house of Kazan GAU 2011, pp. 6–10.
- [18] Glushko S.G. *Problemy rekonstruktsii lesov Srednego Povolzh'ya* [Problems of reconstruction of the forests of the Middle Volga region] Innovatsionnoe razvitiye agropromyshlennogo kompleksa: Materialy Vseros. nauch.-praktich. konf. [Innovative development of the agro-industrial complex: Materials of the All-Russian scientific and practical conference]. t. 77. p. 2. Kazan: Publishing house of Kazan GAU, 2010, pp. 325–328.
- [19] Gayanov A.G. *Lesy i lesnoye khozyaystvo Respubliki Tatarstan* [Forests and forestry of the Republic of Tatarstan]. Kazan: Publishing house Idel-Press, 2001, 240 p.
- [20] Agliullin F.V., Murzov A.I. *Rekomendatsii po vedeniyu lesnogo khozyaystva Tatarskoy ASSR na zonal'no-tipologicheskoy osnove* [Recommendations for forest management of the Tatar ASSR on a zonal-typological basis]. Moscow: VNIILM, 1986, 46 p.

Authors' information

Glushko Sergey Gennadievich — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor Kazan State Agrarian University, glushkosg@mail.ru

Galiullin Ilfir Ravilovich — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor Kazan State Agrarian University, ilfir.79@mail.ru

Prokhorenko Nina Borisovna — Cand. Sci. (Biology), Associate Professor of the Department of Botany and Plant Physiology, Kazan (Volga Region) Federal University, nbprokhorenko@mail.ru

Shaikhraziev Shamil Shaikhenurovich — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor Kazan State Agrarian University, Shaikhrazievsh@mail.ru

Received 10.08.2020.

Accepted for publication 23.09.2020.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ПОСАДОК СОСНЫ И ЛИСТВЕННИЦЫ В СЕРЕБРЯНОБОРСКОМ ОПЫТНОМ ЛЕСНИЧЕСТВЕ

М.Д. Мерзленко¹, П.Г. Мельник^{1, 2}, Ю.Б. Глазунов¹,
А.А. Коженкова³, Е.А. Перевалова¹

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

²МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

³ФГБУН «Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина Российской академии наук» (ГБС РАН), 127276, Москва, Ботаническая ул., д. 4

melnik_petr@bk.ru

Подведен итог выращивания сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в географических посадках Серебряноборского опытного лесничества Института лесоведения РАН. Дана оценка лесоводственного эффекта по комплексному показателю целесообразности внедрения конкретных провениенций сосны. Установлено, что использование семян сосны исключительно местного происхождения нельзя считать обоснованным, поскольку в обширном ареале сосны есть весьма удаленные популяции локального характера, семенной материал которых при его перемещении можно успешно использовать для создания высокопроизводительных искусственных насаждений. Проведено сопоставление показателей роста и производительности 68-летних географических культур 18 климатипов 14 видов лиственниц: польской (*Larix polonica* Racib.), европейской (*Larix decidua* Mill. f. *Sudetica*), Сукачева (*Larix sukaczewii* Dylis), сибирской (*Larix sibirika* Ledeb.), Каяндера (*Larix cajanderi* Mayr.), Гмелина (*Larix gmelinii* Rupr.), Чекановского (*Larix Czekanovskii* Szaf), амурской (*Larix amurensis* Kolesn.), ольгинской (*Larix olgensis* Henry), Кемпфера (*Larix kaempferi* (Lamb.) Carrière), курильской (*Larix kurilensis* Maur.), принца Рупрехта (*Larix principis Rupprechtii* Maur.), Потанина (*Larix potaninii* Bat), американской (*Larix laricina* (DuRoi) K. Koch). Лучшие показатели роста определены у лиственниц польской, Кемпфера, европейской и ольгинской, худшие — у климатипов из Сибири и лиственницы американской. Выявлены такие лидеры по запасу стволовой древесины, как лиственница польская (812 м³/га) и лиственница Кемпфера с Южного Сахалина (804 м³/га). Подведен итог расчетов обобщенного показателя целесообразности внедрения конкретных климатипов, согласно чему целесообразно использовать в Подмоскowie лиственницы — польскую, европейскую из Судет и лиственницу Кемпфера с Южного Сахалина. Представлен положительный лесоводственный эффект дальневосточных (приморских) климатипов, из числа которых следует выделить лиственницу амурскую николаевского происхождения, а также лиственницы ольгинскую и курильскую, и отрицательный — внутриконтинентальных азиатских провениенций и лиственницы американской.

Ключевые слова: географические лесные культуры, род *Pinus*, род *Larix*, провениенция, климатип, лесоводственный эффект, интродукция

Ссылка для цитирования: Мерзленко М.Д., Мельник П.Г., Глазунов Ю.Б., Коженкова А.А., Перевалова Е.А. Результаты изучения географических посадок сосны и лиственницы в Серебряноборском опытном лесничестве // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 6. С. 34–43. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-6-34-43

В деле повышения продуктивности лесов первостепенное значение отводится использованию современных методов селекции по отбору высококачественных лесных семян, что при надлежащей агротехнике и уходе за лесными культурами гарантирует повышение продуктивности насаждений и качество получаемой древесины. Создание географических культур — один из приемов лесной селекции, учитывающих наследственные особенности географического и экологического происхождения древесных растений. На их основе получают экспериментальные данные для сравнительной оценки климатипов, климаэкотипов и региональных экотипов. Географические культуры позволяют сделать выбор наиболее высокопродуктивных и устойчивых форм древесных пород, определить районы заготовок семян. Считается, что путем разведения быстрорастущих климатипов продуктивность лесов можно повысить на 20–30 % [1].

Цель работы

Цель работы — обоснование с лесоводственных позиций результатов выращивания климатипов сосны и лиственницы в центре Восточно-Европейской равнины на основании изучения наиболее старых географических посадок, сохранившихся в центре европейской части России.

Объекты и методы исследований

Для достижения поставленных целей проведено выявление ценного генофонда по результатам адаптации и лесоводственному эффекту климатипов сосны и лиственницы на примере уникальных по биологическому разнообразию провениенций географических посадок Серебряноборского опытного лесничества Института лесоведения РАН.

В методическом плане изучение географических посадок осуществлялось следующим об-

разом. На пробных площадях в географических культурах была выполнена инструментальная таксация в соответствии с ОСТ 56-69-83 [2]. Далее в камеральных условиях для объективной оценки на предмет использования семенного материала конкретных испытываемых видов и провениенций рассчитывался обобщенный относительный показатель, выраженный в единицах (долях) стандартного отклонения, что широко используется зарубежными учеными [3-5]. Однако методика имела ряд специфических видоизменений [6], и расчеты проводились в следующей последовательности:

1) составление выборки опыта (перечня испытываемых провениенций);

2) расчет статистических показателей по высоте, диаметру и запасу стволовой древесины, т. е. получение среднеарифметических значений по каждому климатипу X_p , а также контрольного значения X_m для всей генеральной совокупности климатипов;

3) расчет по каждому из показателей географического дифференциала, т. е. соответствующей каждому таксационному показателю абсолютной успешности провениенции:

$$U = \bar{X}_p - \bar{X}_m;$$

4) расчет относительной успешности рассматриваемой провениенции в долях стандартного отклонения:

$$Q = \frac{U}{S},$$

где U — абсолютная успешность (географический дифференциал) по конкретному таксационному показателю;

S — стандартное отклонение по всей выборке опыта каждого показателя, т. е. высоты, диаметра, запаса;

5) получение комплексного показателя целесообразности внедрения климатипа:

$$G = \frac{(Q_h + Q_d + Q_m)}{3},$$

где Q_h — относительная успешность по высоте;

Q_d — относительная успешность по диаметру;

Q_m — относительная успешность по запасу стволовой древесины.

Географические посадки сосны были созданы под руководством Л.Ф. Правдина в 1948–1950 гг. Посадка осуществлялась вручную по сплошь обработанной почве. Использовались двулетние сеянцы. Способ посадки — рядовой с направлением рядов восток — запад. Густота посадки

составляла $5,7 \pm 1,1$ тыс. сеянцев на 1 га. Лесорастительные условия лесокультурной площади соответствуют свежей простой субори — В₂.

Уход за культурами заключался в прополке и рыхлении поверхности почв вокруг посадочных мест, выкашивании травы в междурядьях 2–3 раза в год в течение первых 3-х лет. В дальнейшем в культурах был вырублен самосев лиственных пород (ивы козьей, березы и осины). В основном по причине снеголома в 1978 и 1981 гг. были проведены санитарные рубки: срублено в общей сложности 175 деревьев с 1 га, что по запасу не превышало объем выбранной древесины — 20 м³/га [7, 8].

В обосновании и создании географических посадок лиственницы принимали участие профессора В.П. Тимофеев, Л.Ф. Правдин и Н.В. Дылис. Причем Н.В. Дылису принадлежит заслуга в доставке для опыта семян с Дальнего Востока и Китая [9]. Культуры были созданы в середине XX в. по сплошь обработанной почве путем рядовой посадки двулетних сеянцев со средней густотой первоначальной посадки около 7 тыс. экз. растений на 1 га. Почва объекта — дерново-скрытоподзолистая супесчаная на древнеаллювиальных песках. Тип условий местопроизрастания — протая свежая суборь (В₂).

Результаты и обсуждение

Исследования проведены по достижении посадками 65-летнего возраста лесных культур (биологический возраст сосны составил 67 лет). В этом возрасте искусственные насаждения находились на завершающем этапе фазы формирования стволов [10].

Из 34-х первоначально высаженных провениенций сосны к достижению 65-летнего возраста исследованию подлежали 30, так как были полностью исключены мурманский, краснодарский и грузинский климатипы. Брянский климатип изначально был представлен только одним рядом сосны, поэтому был исключен.

В среднем наибольшую сохранность показали провениенции из центра европейской территории России и Засурья. В пределах физико-географических областей диапазон сохранности сильно варьирует. Самой высокой сохранностью отмечаются климатипы, представленные образцами из Павлово-Посадского района Московской обл. (29,6 %), Саратовской обл. (26,9 %) и из Змеиногорского района Алтайского края (26,1 %). Наименьшая сохранность зафиксирована (4,3 %) у сосен в возрасте 65 лет из Северо-Казахстанского района. У этой провениенции за последние 30 лет сохранность уменьшилась только на 1,5 %, таким образом, почти весь отпад произошел ранее — в первые три десятилетия. Пониженную сохранность имеют также климатипы из Воронежской,

Т а б л и ц а 1

**Относительная успешность провениенций сосны в географических посадках
Серебряноборского опытного лесничества**

Relative success of pine provinces at provenance trials in Serebryanoborsk experimental forestry

Номер провениенции	Географическое происхождение семенного материала	U_h	Q_h	U_d	Q_d	U_m	Q_m	G
1	Ленинградская обл., г. Приозерск	-0,4	-0,38	-2,3	-1,09	+120	+0,81	-0,22
2	Карелия, г. Олонец	-1,7	-1,63	+0,6	+0,28	+30	+0,20	-0,38
3	Вологодская обл., г. Тотьма	-1,6	-1,54	-0,9	-0,43	-190	-1,30	-1,09
4	Архангельская обл., г. Вельск	+0,2	+1,19	+2,4	+1,14	-39	-0,26	+0,36
5	Костромская обл., г. Чухлома	-2,6	-2,50	-2,5	-1,18	-132	-0,89	-1,52
6	Белоруссия, Брестская обл., г. Дрогичин	-0,3	-0,29	-2,5	-1,18	+92	+0,62	-0,28
7	Белоруссия, Гомельская обл.	+0,4	+0,38	+5,3	+2,51	+61	+0,41	+1,10
8	Белоруссия, Могилевская обл.	+1,4	+1,35	+2,3	+1,09	+82	+0,55	+1,00
9	Латвия, г. Рига	+0,8	+0,77	+0,4	+0,19	+112	+0,75	+0,57
10	Смоленская обл.	+1,7	+1,63	-0,7	-0,33	-50	-0,34	+0,32
11	Тверская обл., г. Кимры	+1,5	+1,44	+1,7	+0,81	-130	-0,87	+0,45
12	Московская обл., г. Павловский Посад	-1,4	1,35	-1,3	-0,62	-40	-0,27	-0,75
13	Ярославская обл.	+1,7	+1,63	+0,1	+0,05	+124	0,83	+0,84
14	Владимирская обл.	-0,3	-0,29	-2,2	-1,04	+30	+0,20	-0,38
15	Калужская обл.	+0,1	+0,10	-1,0	-0,47	+338	+2,27	+0,63
16	Кировская обл.	-0,7	-0,67	-3,2	-1,52	-24	-0,16	-0,78
17	Пермский край	-0,1	-0,10	+1,8	+0,85	+46	+0,31	+0,42
18	Удмуртия, г. Можга	-0,2	-0,19	+1,6	+0,76	+250	+1,68	+0,75
19	Татарстан, г. Елабуга	-0,2	-0,19	-0,6	-0,28	-139	-0,93	-0,47
20	Орловская обл.	-1,1	-1,06	+0,1	+0,05	-3	-0,02	-0,36
21	Белгородская обл., г. Старый Оскол	+0,5	+0,48	-1,6	-0,76	+4	+0,03	-0,08
22	Воронежская обл., г. Новохоперск	-1,0	-0,96	+1,0	+0,47	-329	-2,21	-1,21
23	Рязанская обл., г. Можары	-0,7	-0,67	-3,1	-1,47	-17	-0,11	-0,75
24	Нижегородская обл.	+0,1	+0,10	0,0	0,0	+127	+0,85	+0,32
25	Саратовская обл., г. Балашов	+0,9	+0,87	+1,2	+0,57	+100	+0,67	+0,70
26	Свердловская обл., г. Верхняя Нейва	+0,5	+0,48	-0,3	-0,14	+79	+0,53	+0,29
27	Казахстан, г. Целиноград	+1,7	+1,63	+5,4	+2,60	-320	-2,15	+0,69
28	Алтайский край, г. Змеиногорск	+0,7	+0,67	-0,3	-0,14	+4	+0,03	+0,19
29	Красноярский край	+0,3	+0,29	-1,3	-0,62	-31	-0,21	-0,18
30	Бурятия, г. Улан-Удэ	0,0	0,00	-0,9	-0,43	-170	-1,14	-0,52

Вологодской областей и Татарстана (6,6; 9,6 и 10,7 % соответственно), что связано с распространением в них очагов заболевания корневой губкой.

Средние диаметры у стволов разных климатических типов различаются значительно сильнее, чем их средняя высота. Это обусловлено главным образом различной густотой стояния. Например, кировская провениенция имеет средний диаметр ствола 23,8 см при густоте стояния 1093 ствола на 1 га, тогда как сосна из Северо-Казахстанского района — 32,4 см при густоте стояния 284 дерева на 1 га.

Лидерами по лесоводственному эффекту являются калужская (970 м³ на 1 га) и удмуртская

(822 м³ на 1 га) провениенции. Эффект последней можно объяснить произрастанием материнских древостоев на пермских глинах Приуралья [11]. Формирующиеся на них серые лесные почвы отличаются высоким содержанием гумуса по сравнению с почвами западных районов Европейской части России.

Опытные посадки изучались ранее в возрасте 35 лет (II класс возраста). Авторами тогда был сделан парадоксальный, на наш взгляд, вывод: «процесс сглаживания различий между древостоями разного происхождения уже начался, и в ближайшее десятилетие участок с географическими культурами можно будет рассматривать

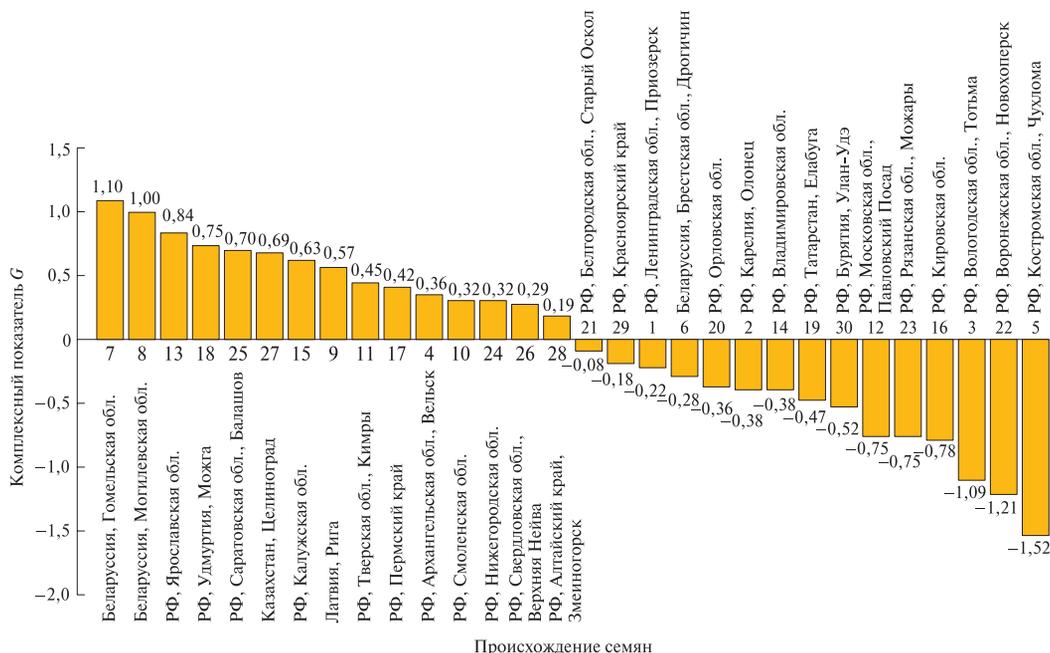


Рис. 1. Итоговая относительная оценка лесоводственного эффекта провениенций сосны по комплексному показателю

Fig. 1. The final relative assessment of the silvicultural effect of pine provinces according to the complex indicator

как целостную экосистему» [7]. Тем не менее за истекшие 30 лет сглаживания различий между древостоями разного происхождения не произошло. Все рассматриваемые 30 провениенций сосны в 65-летнем возрасте заметно различаются по росту и производительности (табл. 1). Более того, как показывают исследования географических посадок М.К. Турского, находящихся в VI классе возраста, различия в старых культурах не только сохраняются, но и усиливаются [12].

Сравнение с использованием комплексного показателя успешности провениенций сосны в географических посадках Серебряноборского опытного лесничества показало следующее (рис. 1, см. табл. 1). Наиболее эффективными оказались провениенции из Белорусского Полесья (№ 7 и № 8), имевшие по всем относительным показателям только положительные значения. Причем в древостоях полесских провениенций преобладают господствующие и согосподствующие деревья (средний класс Крафта II, 5). В пятерку лидеров вошли также ярославская, удмуртская и саратовская провениенции. Весьма показательно, что саратовская провениенция оказалась одним из лидеров и в географических лесных культурах Щелковского учебно-опытного лесхоза (северо-восток Московской обл.) [13]. При этом и в культурах Серебряноборского лесничества, и в посадках Щелковского лесхоза семена происходили из южных районов Саратовской обл., относящихся к степной зоне (Балашов-

ского и Красноармейского районов). Наиболее вероятным источником семян в Балашовском районе является Арзынский бор — уникальный участок ленточного бора естественного происхождения на террасовых песках р. Хопер в степной зоне Саратовского правобережья р. Волги. Это единственный сохранившийся аренный бор на Донской равнине в Саратовской обл., площадь его составляет 27,3 га. По всем признакам этот участок является рефугиумом, в котором популяция сосны изолированно существовала на протяжении длительного периода. В таких участках древних боров сохранился ценнейший генофонд аутохтонной сосны, массивы которой в древности не были затронуты ледниками: ни Валдайское, ни Днепровское максимальное покровное оледенение сюда не дошли [14].

Самые слабые результаты показали провениенции из Костромской, Воронежской и Вологодской областей. При этом в географических культурах на северо-востоке Московской обл. эти провениенции также оказались в числе отстающих в росте [13].

Две из трех северных провениенций показали отрицательный результат (см. табл. 1, см. рис. 1). На их фоне резко выделяется архангельская провениенция из Вельского р-на. Вероятнее всего, эта аномалия объясняется наличием в районе сбора семян древостоев сосны, произрастающих в зоне с повышенным значением конвективно-го теплового потока земли [15]. Благоприятные

условия роста аутохтонных древостоев оказались закрепленными на генетическом уровне, что и проявилось при использовании такого семенного материала в географических посадках Серебряноборского лесничества [16].

В научно-производственных кругах сложился стереотип, согласно которому лучшие результаты дает использование местных семян. Результаты изучения географических посадок сосны в Серебряноборском лесничестве полностью отрицают

этот миф (см. рис. 1). Надо сказать, что факт отсутствия лидерства местных провениенций подтверждается исследованиями в географических посадках М.К. Турского Лесной опытной дачи (ЛОД) Петровской земледельческой и лесной академии (впоследствии — Тимирязевской сельскохозяйственной академии, в настоящее время — РГАУ–МСХА имени К.А. Тимирязева) [17, 18] и в географических посадках Щелковского учебно-опытного лесхоза [13, 19].

Т а б л и ц а 2

Расчет успешности 68-летних провениенций лиственницы
Yield calculation of 68-year-old larch provinces

Номер провениенции	Вид лиственницы	Происхождение	H_{cp} , м	U_h	Q_h	D_{cp} , см	U_d	Q_d	M_{68} , м ³ /га	U_m	Q_m	G
1	Лиственница польская	М. Скаржиско (Польша)	26,0	+0,5	+0,19	31,3	+5,8	+1,81	812	+281	+1,42	+1,14
2	Лиственница европейская	Горы Судеты (Польша)	28,6	+3,1	+1,19	28,9	+3,4	+1,06	753	+222	+1,12	+1,12
3	Лиственница Сукачева	Башкортостан, Кананикольский лесхоз	26,6	+1,1	+0,42	26,7	+1,2	+0,38	518	-13	-0,07	+0,24
4	Лиственница Сукачева	Башкортостан	26,1	+0,6	+0,23	24,0	-1,5	-0,47	583	+53	+0,26	+0,01
5	Лиственница сибирская	Алтайский край	23,3	-2,2	-0,85	20,9	-4,6	-1,44	245	-286	-1,44	-1,24
6	Лиственница Каяндера	Якутия, Орджоникидзевский лесхоз	20,7	-4,8	-1,85	19,0	-6,5	-2,03	253	-278	-1,40	-1,76
7	Лиственница Каяндера	Якутия, Покровский лесхоз	22,6	-2,9	-1,12	23,6	-1,9	-0,59	147	-384	-1,94	-1,22
8	Лиственница Гмелина	Читинская обл., Чернышевский лесхоз	26,7	+1,2	+0,46	26,2	+0,7	+0,22	450	-81	-0,41	+0,09
9	Лиственница Гмелина	Якутия, Вилюйский лесхоз	24,9	-0,6	-0,23	23,1	-2,4	-0,75	631	+100	+0,51	-0,16
10	Лиственница Чекановского	Бурятия, Сосново-озерский лесхоз	27,6	+2,1	+0,81	28,2	+2,7	+0,84	489	-42	-0,21	+0,48
11	Лиственница амурская	Хабаровский край, Николаевский лесхоз	28,0	+2,5	+0,96	27,2	+1,7	+0,53	632	+101	+0,51	+0,67
12	Лиственница амурская	Хабаровский край, Комсомольский лесхоз	27,0	+1,5	+0,58	25,7	+0,2	+0,06	543	+12	+0,06	+0,23
13	Лиственница ольгинская	Приморский край, Ольгинский лесхоз	27,7	+2,2	+0,85	30,5	+5,0	+1,56	620	+89	+0,44	+0,95
14	Лиственница Кемпфера	Южный Сахалин	28,6	+3,1	+1,19	27,4	+1,9	+0,59	804	+273	+1,38	+1,05
15	Лиственница курильская	Сахалинская обл., о. Итуруп	27,7	+2,2	+0,85	24,9	-0,6	-0,19	772	+241	+1,22	+0,63
16	Лиственница принца Рупрехта	Провинция Шаньси (Китай)	22,8	-2,7	-1,04	24,3	-1,2	-0,38	480	-51	-0,26	-0,56
17	Лиственница Потанина	Сино-Тибетские горы (Китай)	22,0	-3,5	-1,35	24,2	-1,3	-0,41	294	-237	-1,20	-0,99
18	Лиственница американская	Северо-восточные районы США	21,8	-3,7	-1,42	22,0	-3,5	-1,09	534	+3	-0,02	-0,84

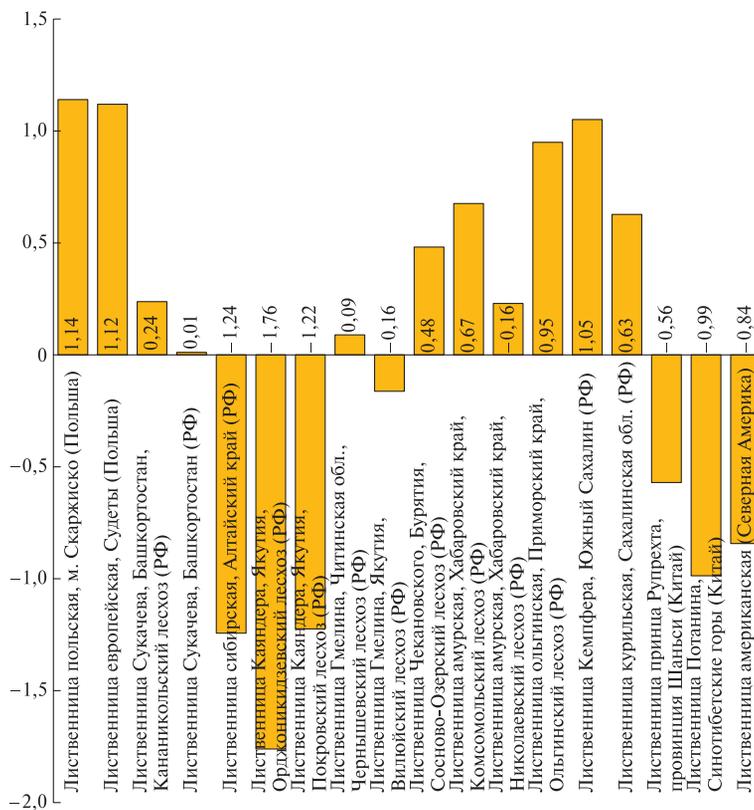


Рис. 2. Итог относительной оценки лесоводственного эффекта провениенций лиственницы по комплексному показателю
Fig. 2. The result of the relative assessment of the silvicultural effect of larch provinces according to the complex indicator

Географические посадки лиственницы в Серебряноборском лесничестве уникальны по своему содержанию, поскольку в них испытываются редкие интродуценты центральноазиатского и дальневосточного происхождения. Всего в опытных культурах насчитывается 18 провениенций, представленных 14 видами рода *Larix*: лиственницами польской (*L. polonica* Racib.), европейской (*L. decidua* Mill. f. *Sudetica*), Сукачева (*L. sukaczewii* Dylis), сибирской (*L. sibirika* Ledeb.), Каяндера (*L. cajandera* Mayr.), Гмелина (*L. gmelinii* Rupr.), Чекановского (*L. Czekanovskii* Szaf), амурской (*L. amurensis* Kolesn.), ольгинской (*L. olgensis* Henry), Кемпфера (*L. kaempferi* (Lamb.) Carrière), курильской (*L. kurilensis* Maur.), принца Рупрехта (*L. principis Rupprechtii* Maur.), Потанина (*L. potaninii* Bat), американской (*L. laricina* (Duroi) K. Koch).

Результаты перечислительной таксации насаждений показали весьма неоднозначный лесоводственный эффект как по успешности интродукции разных видов лиственницы, так и существенные различия в пределах вида разных по месту происхождения исходных популяций. Непревзойденными лидерами по средней высоте являются провениенции лиственниц Кемпфера

с Южного Сахалина (28,6 м) и европейской из Судет (28,6 м); за ними следует лиственница амурская из Николаевского лесхоза Хабаровского края (28,0 м). Худшие результаты (в пределах 20,7–22,6 м) свойственны лиственницам из Якутии, Сино-Тибетских гор (Сычуаньские Альпы) Китая и американской.

Наилучший показатель среднего диаметра у лиственницы польской (31,3 см), от которой лишь немногим отстает лиственница ольгинская (30,5 см). Худшими по оцениваемому признаку оказались климатип из Орджоникидзевского лесхоза Якутии (19,0 см), лиственницы сибирская (20,9 см) и американская (22,0 см).

Лидером по производительности является лиственница польская (812 м³ на 1 га). Высокий лесоводственный эффект свойствен этой лиственнице и в географических посадках Бронницкого лесничества Московской обл. [20]. Наихудшие результаты по запасу стволовой древесины присущи климатипам лиственниц Каяндера и сибирской из Алтайского края (табл. 2).

Следует отметить, что лиственница сибирская не проявила себя положительно и в географических посадках на северо-востоке Подмоскovie [21]. Что же касается алтайской лиственницы,

то о ее плохой адаптации и плохом росте в пределах Восточно-Европейской равнины есть достоверные данные С.А. Самофала, на что указывал Н.В. Дылис в своей монографии о сибирской лиственнице [22].

Обращает на себя внимание весьма хороший лесоводственный эффект у лиственницы амурской николаевской популяции (см. табл. 2). Такой факт ранее в географических посадках Серебряноборского опытного лесничества фиксировался в 8-летнем возрасте Н.В. Дылисом [9] и в 30-летнем — В.В. Надеждиным [23].

Для более объективной оценки эффекта тех или иных климатипов в географических посадках Серебряноборского опытного лесничества нами рассчитан обобщенный показатель целесообразности их внедрения, выраженный в долях стандартного отклонения (рис. 2, см. табл. 2). Итоговые расчеты показали высокую целесообразность использования в Подмоскovie лиственниц польской, европейской из Судет и лиственницы Кемпфера с Южного Сахалина. Кроме того, положительный эффект дали дальневосточные (приморские) климатипы [24], из числа которых следует выделить лиственницу амурскую николаевского происхождения, а также лиственницы ольгинскую и курильскую. При этом необходимо учитывать, что в условиях южно-таежной зоны европейской части России дальневосточные виды лиственницы из-за продолжительного периода роста повреждаются раннеосенними заморозками и неперспективны [25].

Крайне неэффективными оказались внутриконтинентальные климатипы лиственницы. Как правило, они произрастают на больших возвышенностях и в горных условиях. Так, в равнинных условиях Западного Подмоскovia не оправдал себя такой исключительно редкий интродуцент для европейской части России, как лиственница Потанина. В природных условиях Восточного Тибета этот вид приурочен преимущественно к верхнему пределу лесов, расположенному на высоте 3800–4200 м н. у. м., где формирует чистые монодоминантные группировки небольшой полноты [9].

Из изложенного выше следует, что при создании географических посадок необходимо знать и учитывать по каждой провениенции орографический фактор (высоту над уровнем моря, экспозицию склона), а также эдафический фактор, фиксируемый по эдафической сетке Крюденера — Алексеева — Погребняка, отражающей трофность и влагообеспеченность местопроизрастания, т. е. условий, имеющих важное значение в лесокультурном деле. Таким образом, создавая и изучая географические посадки, лесоводы будут рассматривать не просто климатипы, которые, по

сути, могут нести весьма обобщенное смысловое содержание, а конкретные климаороздафотипы.

Разные виды лиственниц, произрастая в ботанических садах, а также на территории географических посадок, переопыляясь, скрещиваются между собой, давая фертильное потомство. По данным Г.В. Гукова [26], в естественной природе Дальнего Востока гибриды лиственниц тоже хорошо плодоносят и способны к дальнейшей гибридизации, поэтому сильная изменчивость морфологических признаков создает большие трудности для систематиков, приводя к ошибкам и неточностям. Это позволяет высказать мнение о том, что с лесоводственных позиций род *Larix* состоит из одного весьма полиморфного вида.

Находясь в пределах очень обширного ареала, лиственница образует географические расы, точнее, множество климаороздафотипов. Именно факторы абиотической среды эволюционно способствовали формированию многочисленных географических рас лиственницы.

Выводы

1. Результаты исследования 65-летних географических культур сосны показали, что в IV классе возраста искусственные древостои из разных провениенций сосны имеют существенные различия по лесоводственному эффекту.

2. Оценка по относительной успешности провениенций сосны способствовала выявлению преимуществ использования в Подмоскovie семенного материала из Белорусского Полесья, Центрального района РФ, Засурья и неприменимость переноса семян из Придвинской и Южно-Русской физико-географических областей.

3. Регион, включающий в себя такие физико-географические области и районы, как Белорусское Полесье, Центр РФ и Засурье, следует рассматривать в качестве оптимума расположения наиболее ценного генетического материала сосны обыкновенной.

4. Удаленность источника семян и разница в климатических условиях не позволяют сделать однозначный и достоверный вывод о непригодности того или иного семенного материала. В различных физико-географических областях и районах произрастания сосны обыкновенной локально встречаются ценные в лесоводственном плане популяции, являющиеся носителями уникального генофонда. Для сохранения такого генофонда на основании исследования роста географических культур следует выделить климаэдафотипы (географические региональные расы сосны) с обязательным созданием из них лесосеменных участков и плантаций.

5. Опыт выращивания географических лесных культур лиственницы в Западном Подмоскovie

показал, что наилучшим ростом и производительностью характеризуются лиственница польская (*Larix polonica* Racib.), европейская (*Larix decidua* Mill. f. *Sudetica*) и Кемпфера (*Larix kaempferi* (Lamb.) Carrière).

6. Хорошим лесоводственным эффектом обладают также такие дальневосточные виды, как лиственница ольгинская (*Larix olgensis* Henry), курильская (*Larix kurilensis* Maur.) и амурская (*Larix amurensis* Kolesn.) николаевского происхождения. Поэтому в регионе Дальнего Востока необходим поиск популяций лиственниц, являющихся носителями уникального генофонда для целевого лесовосстановления.

7. Внутриконтинентальные (азиатские) виды лиственниц в условиях Западного Подмосквья не способны реализовать положительный лесоводственный эффект.

Список литературы

- [1] Пальцев А.М., Мерзленко М.Д., Мельник П.Г. Опыт географических культур ели в зоне смешанных лесов. Обзорная информация. М.: ВНИИЦлесресурс, 1995. 35 с.
- [2] ОСТ 56-69-83. Пробные площади лесоустроительные. Методы закладки. М., 1983. 59 с.
- [3] Giertych M. Summary results of the IUFRO 1938 Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst) provenance experiment Height growth // *Silvae Genetica*, 1976, v. 25, no. 5-6, pp. 154-164.
- [4] Giertych M. Summary of results on Scotch pine (*Pinus sylvestris* L.) height growth in IUFRO provenance experiments // *Silvae Genetica*, 1979, v. 28, no. 4, pp. 136-152.
- [5] Paule L., Laffers A., Korpel S. Ergebnisse der Provenienzversuche mit der Tanne in der Slowakei // *VÚLH. Zvolen (Forschungsbericht)*, 1985, pp. 137-159.
- [6] Мерзленко М.Д., Мельник П.Г. Итог тридцати вегетаций в географических культурах ели Сергиево-Посадского опытного лесхоза // *Науч. тр. МГУЛ*, 1995. Вып. 274. С. 64-77.
- [7] Нарышкин М.А., Вакуров А.Д., Петерсон Ю.В. Географические культуры сосны обыкновенной под Москвой // *Лесоведение*, 1983. № 2. С. 50-57.
- [8] Правдин Л.Ф., Вакуров А.Д. Рост сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) разного географического происхождения в подзоне хвойно-широколиственных лесов // Сложные боры хвойно-широколиственных лесов и пути ведения лесного хозяйства в лесопарковых условиях Подмосквья. М.: Наука, 1968. С. 160-195.
- [9] Дылис Н.В. Лиственница Восточной Сибири и Дальнего Востока // *Изменчивость и природное разнообразие*. М.: АН СССР, 1961. 210 с.
- [10] Мерзленко М.Д. Лесокультурное дело. М.: МГУЛ, 2009. 124 с.
- [11] Мельник П.Г., Глазунов Ю.Б., Мерзленко М.Д. Рост и производительность удмуртского климатипа сосны обыкновенной в условиях Подмосквья // *Вестник Казанского государственного аграрного университета*, 2018. № 4 (51). С. 66-71.
- [12] Наумов В.Д., Поляков А.Н., Корешков В.Д. Лесная опытная дача РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. М.: РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 2013. 329 с.
- [13] Мельник П.Г., Мерзленко М.Д. Результат выращивания климатипов сосны в географических культурах северо-восточного Подмосквья // *Лесотехнический журнал*, 2014. № 4 (16). С. 36-44.
- [14] Глазунов Ю.Б., Мельник П.Г., Мерзленко М.Д. Рост саратовского климатипа сосны обыкновенной в условиях Подмосквья // *Аграрный научный журнал*, 2016. № 9. С. 9-14.
- [15] Беляев В.В., Дровнина С.И., Левачев А.В. Влияние конвективного теплового потока земли на условия роста лесных и сельскохозяйственных растений Архангельской области. Архангельск: Солти, 2007. 176 с.
- [16] Мельник П.Г., Глазунов Ю.Б., Мерзленко М.Д. Рост и производительность архангельского климатипа сосны обыкновенной в условиях Подмосквья // *ИВУЗ Лесной журнал*, 2017. № 1 (355). С. 9-20.
- [17] Поляков А.Н., Савельев О.А. Географические культуры сосны на Лесной опытной даче ТСХА // *Лесохозяйственная информация*, 2002. № 6. С. 15-20.
- [18] Савватеева О.А., Мокрушина М.Г. Состояние хвойных в городской среде (на примере города Дубна Московской области) // *Социально-экологические технологии*, 2014. № 1-2. С. 86-89.
- [19] Пальцев А.М., Мерзленко М.Д. Роль географических культур в лесокультурном деле. М.: МЛТИ, 1990. 54 с.
- [20] Мельник П.Г., Карасев Н.Н. Географическая изменчивость лиственницы в фазе приспешивания // *Вестник МГУЛ – Лесной вестник*, 2012. № 1 (84). С. 60-74.
- [21] Мельник П.Г., Мерзленко М.Д., Лобова С.Л. Результат выращивания климатипов лиственницы в географических культурах северо-восточного Подмосквья // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*, 2016. № 2 (136). С. 62-67.
- [22] Дылис Н.В. Сибирская лиственница. М.: МОИП, 1947. 132 с.
- [23] Надеждин В.В. Лиственница амурская в культурах Подмосквья // *Лесоведение*, 1983. № 2. С. 42-49.
- [24] Коженкова А.А., Мерзленко М.Д. Дальневосточные лиственницы как ценный генофонд для интродукции в центр Русской равнины // *Актуальные проблемы лесного комплекса*, 2017. № 49. С. 99-101.
- [25] Багаев С.С. К изучению климатипов лиственницы в условиях Южно-таежного района европейской части Российской Федерации // *Лесохозяйственная информация*, 2015. № 2. С. 35-45.
- [26] Гуков Г.В. Рекомендации по ведению хозяйства в лиственничных лесах Сихотэ-Алиня. Владивосток: Приморский с.-х. ин-т, 1976. 301 с.

Сведения об авторах

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

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

Глазунов Юрий Борисович — канд. с.-х. наук, зав. лабораторией, ФГБУН Институт лесоведения РАН, glazunov@ilan.ras.ru

Коженкова Анна Альбертовна — канд. с.-х. наук, науч. сотр. ФГБУН «Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина Российской академии наук», kozhenkova_anna@mail.ru

Перевалова Евгения Александровна — аспирант, ФГБУН Институт лесоведения РАН, perevalva.evgenija@rambler.ru

Поступила в редакцию 13.07.2020.

Принята к публикации 29.09.2020.

STUDY RESULTS OF PINE AND LARCH PROVENANCE TRIAL IN SEREBRYANOBORSKY EXPERIMENTAL FOREST DISTRICT

M.D. Merzlenko¹, P.G. Melnik^{1,2}, Yu.B. Glazunov¹, A.A. Kozhenkova³, E.A. Perevalova¹

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

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

³The N.V. Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences, 4, Botanicheskaya st., 127276, Moscow, Russia

melnik_petr@bk.ru

The results of the cultivation of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in the provenance trial in the Serebryanoborsky experimental forest district of the Institute of Forestry of the Russian Academy of Sciences are summarized. The silvicultural effect was assessed by a comprehensive indicator of the feasibility of introducing specific pine conventions. It was established that the use of pine seeds of exclusively local provenances cannot be considered justified. In the vast area of pine there are very remote populations of a local nature, the seed of which, when moved, can be successfully used to create highly productive artificial stands. The 68 year old geographical plantations of larch growth and production rates of 18 climotypes of 14 larch species were compared. These species are Polish larch (*Larix polonica* Racib.), European larch (*Larix decidua* Mill. f. *Sudetica*), *Larix sukaczewii* Dylis, Siberian larch (*Larix sibirica* Ledeb.), *Larix cajanderi* Mayr., *Larix gmelinii* Rupr., *Larix Czekanovskii* Szaf, *Larix amurensis* Kolesn., Olgan larch (*Larix olgensis* Henry), Japanese larch (*Larix kaempferi* (Lamb.) Carrière), *Larix kurilensis* Maur., *Larix principis Rupprechtii* Maur., *Larix potaninii* Bat, American larch (*Larix laricina* (DuRoi) K. Koch). Polish larch, Japanese larch, European larch and Olgan larch have the best growth rate results. Climotypes from Siberia and American larch showed worst results. Polish larch (812 m³/ha) and Japanese (804 m³/ha) larch from the Southern Sakhalin have the highest stem volume. The final estimations showed that the climotypes of Polish larch, European larch from Sudetes and Japanese larch from the Southern Sakhalin are suitable for introduction in the Moscow Region. The climotypes from the Far East, namely *Larix amurensis* Kolesn., Olgan larch and *Larix kurilensis* Maur., had positive silvicultural effect. The inland climotypes from Asia together with American larch showed negative results.

Ключевые слова: geographical forest plantations, genus *Pinus*, genus *Larix*, provenances, climotype, silvicultural effect, species introduction

Suggested citation: Merzlenko M.D., Melnik P.G., Glazunov Yu.B., Kozhenkova A.A., Perevalova E.A. *Rezultaty izucheniya geograficheskikh posadok sosny i listvennitsy v Serebryanoborskom opytном lesnichestve* [Study results of pine and larch provenance trial in Serebryanoborsky experimental forest district] // *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 6, pp. 34–43. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-6-34-43

References

- [1] 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]. *Obzornaya informatsiya*. Moscow: VNIITslesresurs, 1995, 35 p.
- [2] OST 56–69–83. *Probnye ploshchadi lesoustroitel'nye. Metody zakladki* [Industrial Standard 56–69–83. Sampling Areas of Forest Inventory. The Plantation Establishment Principles]. Moscow, 1983, 59 p.
- [3] Giertych M. Summary results of the IUFRO 1938 Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst) provenance experiment Height growth. *Silvae Genetica*, 1976, v. 25, no. 5–6, pp. 154–164.
- [4] Giertych M. Summary of results on Scotch pine (*Pinus sylvestris* L.) height growth in IUFRO provenance experiments. *Silvae Genetica*, 1979, v. 28, no. 4, pp. 136–152.
- [5] Paule L., Laffers A., Korpel S. *Ergebnisse der Provenienzversuche mit der Tanne in der Slowakei*. VÚLH. Zvolen (Forschungsbericht), 1985, pp. 137–159.

- [6] Merzlenko M.D., Mel'nik P.G. *Itog tridcati vegetaciy v geograficheskikh kul'turah eli Sergievo-Posadskogo opytnogo leshoza* [Outcome of thirty vegetations in geographical cultures of spruce of Sergiyev Posad experienced forestry]. Nauchnye trudy MGUL [Proceedings of MSFU], 1995, iss. 274, pp. 64–77.
- [7] Naryshkin M.A., Vakurov A.D., Peterson Yu.V. *Geograficheskie kul'tury sosny obyknovnoy pod Moskvoy* [Geographical cultures of Scots pine near Moscow]. Lesovedenie, 1983, no. 2, pp. 50–57.
- [8] Pravdin L.F., Vakurov A.D. *Rost sosny obyknovnoy (Pinus silvestris L.) raznogo geograficheskogo proiskhozhdeniya v podzone khvoyno-shirokolistvennykh lesov* [Growth of common pine (*Pinus silvestris* L.) of different geographical origin in the subzone of coniferous-deciduous forests]. Slozhnye bory khvoyno-shirokolistvennykh lesov i puti vedeniya lesnogo khozyaystva v lesoparkovykh usloviyakh Podmoskov'ya. Moscow: Nauka, 1968, pp. 160–195.
- [9] Dylis N.V. *Listvennitsa Vostochnoy Sibiri i Dal'nego Vostoka. Izmenchivost' i prirodnoe raznoobrazie* [Larch of Eastern Siberia and the Far East. Variability and natural diversity]. Moscow: USSR Academy of Sciences, 1961, 210 p.
- [10] Merzlenko M.D. *Lesokul'turnoe delo* [Silvicultural Business]. Moscow: MGUL, 2009, 124 p.
- [11] Mel'nik P.G., Glazunov Yu.B., Merzlenko M.D. *Rost i proizvoditel'nost' udmurtskogo klimatipa sosny obyknovnoy v usloviyakh Podmoskov'ya* [The growth and productive capacity of the Udmurtia climatic types of Scots pine in conditions of Moscow region]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 2018, no. 4 (51), pp. 66–71.
- [12] Naumov V.D., Polyakov A.N., Koreshkov V.D. *Lesnaya opytnaya dacha RGAU-MSHA imeni K.A. Timiryazeva* [Forest experimental summer residence RGAU-MSHA named after K.A. Timiryazev]. Moscow: RGAU-MSHA im. K.A. Timiryazeva, 2013, 329 p.
- [13] Mel'nik P.G., Merzlenko M.D. *Rezultat vyrashhivaniya klimatipov sosny v geograficheskikh kul'turah severo-vostochnogo Podmoskov'ya* [The results of scots pine climatic provenances growth in the geographical plantations of the north-east of the Moscow region]. Lesotekhnicheskij zhurnal, 2014, no. 4 (16), pp. 36–44.
- [14] Glazunov Yu.B., Mel'nik P.G., Merzlenko M.D. *Rost saratovskogo klimatipa sosny obyknovnoy v usloviyakh Podmoskov'ya* [The growth of the Saratov climatype of ordinary pine in the Moscow region]. Agrarniy nauchnyy zhurnal, 2016, no. 9, pp. 9–14.
- [15] Belyaev V.V., Drovkina S.I., Levachev A.V. *Vliyanie konvektivnogo teplovogo potoka zemli na usloviya rosta lesnykh i sel'skokhozyaystvennykh rasteniy Arkhangel'skoy oblasti* [The effect of convective heat flow of the earth in conditions of growth of forest and agricultural plants of the Arkhangelsk region]. Arkhangel'sk: Solti, 2007, 176 p.
- [16] Mel'nik P.G., Glazunov Yu.B., Merzlenko M.D. *Rost i proizvoditel'nost' arkhangel'skogo klimatipa sosny obyknovnoy v usloviyakh Podmoskov'ya* [The growth and productive capacity of the Arkhangelsk climatic types of Scots pine in conditions of Moscow region]. Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal), 2017, no. 1 (355), pp. 9–20.
- [17] Polyakov A.N., Savel'ev O.A. *Geograficheskie kul'tury sosny na Lesnoy opytnoy dache TSKhA* [Geographic pine trees at the Forest Experimental Summer House TSHA]. Lesokhozyaystvennaya informatsiya, 2002, no. 6, pp. 15–20.
- [18] Savvateeva O.A., Mokrushina M.G. *Sostoyaniye khvoynnykh v gorodskoy srede (na primere goroda Dubna Moskovskoy oblasti)* [The state of conifers in the urban environment (on the example of the city of Dubna, Moscow region)]. Socio-ecological technologies [Sotsial'no-ekologicheskie tekhnologii], 2014, no. 1–2, pp. 86–89.
- [19] 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.
- [20] Mel'nik P.G., Karasev N.N. *Geograficheskaya izmenchivost' listvennicy v faze prispevaniya* [Geographical variability of larch in the premature stage]. Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik, 2012, no. 1 (84), pp. 60–74.
- [21] Mel'nik P.G., Merzlenko M.D., Lobova S.L. *Rezultat vyrashhivaniya klimatipov listvennicy v geograficheskikh kul'turah severo-vostochnogo Podmoskov'ya* [The results of raising of the climatic types of larch among the provenance trial in the north-east of Moscow region]. Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 2016, no. 2 (136), pp. 62–67.
- [22] Dylis N.V. *Sibirskaya listvennitsa* [Siberian larch]. Moscow: Moscow society of naturalists, 1947, 137 p.
- [23] Nadezhdin V.V. *Listvennica amurskaya v kul'turah Podmoskov'ya* [Amur larch in the cultures of the Moscow region]. Lesovedenie, 1983, no. 2, pp. 42–49.
- [24] Kozhenkova A.A., Merzlenko M.D. *Dal'nevostochnye listvennitsy kak tsennyi genofond dlya introduktsii v tsentr Russkoy ravniny* [Far Eastern larch as a valuable gene pool for introduction into the center of the Russian plain]. Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa, 2017, no. 49, pp. 99–101.
- [25] Bagaev S.S. *K izucheniyu klimatipov listvennicy v usloviyakh Yuzhno-tayozhnogo rayona evropeyskoy chasti Rossiyskoy Federacii* [For the study of larch climatetypes in the conditions of the South Taiga region of the European part of the Russian Federation]. Lesokhozyaystvennaya informatsiya, 2015, no. 2, pp. 35–45.
- [26] Gukov G.V. *Rekomendacii po vedeniyu hozyaystva v listvennichnykh lesakh Sihotye-Alinya* [Recommendations for farming in the larch forests of Sikhote-Alin]. Vladivostok: Primorskiy s.-h. in-t, 1976, 301 p.

Authors' information

Merzlenko Mikhail Dmitriyevich — Dr. Sci. (Agricultural), Prof., Chief Scientist, Institute of Forest Science Russian Academy of Sciences, md.merzlenko@mail.ru

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

Glazunov Yuriy Borisovich — Cand. Sci. (Agricultural), Head of the Laboratory, Leading Researcher, Institute of Forest Science Russian Academy of Sciences, yugla@inbox.ru

Kozhenkova Anna Al'bertovna — Cand. Sci. (Agricultural), Researcher, The N.V. Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences, kozhenkova_anna@mail.ru

Perevalova Evgeniya Aleksandrovna — pg., Institute of Forest Science Russian Academy of Sciences, perevalva.evgenija@rambler.ru

Received 13.07.2020.

Accepted for publication 29.09.2020.

УДК 630.2: 582. 475 (571.14)

DOI: 10.18698/2542-1468-2020-6-44-50

ДИНАМИКА СЕМЕНОШЕНИЯ СОСНЫ КЕДРОВОЙ СИБИРСКОЙ (*PINUS SIBIRICA*) В УСЛОВИЯХ НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ

О.В. Паркина¹, Р.А. Третьякова¹, Г.А. Галецкая²

¹ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный университет», 630039, г. Новосибирск, ул. Добролюбова, д. 160

²Западно-сибирский филиал ФГБУ «Рослесинфорг», 630048, г. Новосибирск, ул. Немировича-Данченко, д. 137/1

Parkinaoksana@yandex.ru

Представлены результаты аналитического обзора и оценки многолетних экспериментальных данных динамики семеношения сосны кедровой сибирской в Новосибирской обл. на объектах лесосеменной базы в Искитимском лесничестве. Проведен анализ развития генеративной части кедр в зависимости от гидро-термических условий лет изучения и индивидуальной изменчивости клонов. Установлено, что условия произрастания и уровень влажности воздуха, а также температурный фактор влияют на периодичность семеношения. Выделены годы, различающиеся по объему заготовки семян кедр за период 2009–2017 гг. Рекомендуется исследовать годы массовых урожаев и неурожаев в целях изучения причин периодичности плодоношения и особенностей процессов опыления, оплодотворения и развития шишек.

Ключевые слова: кедр сибирский, плодоношение, семенная продуктивность, гидротермические факторы

Ссылка для цитирования: Паркина О.В., Третьякова Р.А., Галецкая Г.А. Динамика семеношения сосны кедровой сибирской (*Pinus sibirica*) в условиях Новосибирской области // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 6. С. 44–50. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-6-44-50

Неповторимым, поистине, в своем роде видом — ценным орехоносным источником, произрастающим на территории Сибири, является сосна кедровая сибирская (*Pinus sibirica*) или, как еще принято называть в лесном хозяйстве, кедр сибирский (сибирский кедр, кедр). Актуальность интродукции хвойных пород объясняется большой необходимостью быстрого восстановления лесосырьевой базы по хвойному хозяйству, расширением породного ассортимента лесных культур, повышением их производительности и качественного состава. В работе Белинского М.Н. [1] указано, что опыт проведения интродукционных испытаний доказывает их целесообразность и экономическую эффективность. При оценке перспективности вида в новых условиях большое значение имеют семеношение и показатели качества семян.

Цель работы

Цель работы — анализ динамики семеношения сосны кедровой сибирской (*Pinus sibirica*) на объектах лесного семеноводства в пределах Новосибирской обл. за период с 2009–2017 гг.

Объекты и методы исследования

Проведены исследования лесосеменных объектов в Искитимском лесничестве на Бердском и Елбашинском лесохозяйственных участках Искитимского района Новосибирской обл. с участием сосны кедровой сибирской (*Pinus sibirica*) по состоянию на 1 января в период с 2009 по 2017 гг.

Сибирский кедр имеет огромное биологическое и хозяйственное значение не только для окружающей среды, но и для человека. Он относится

к особым видам, обладающим важными экологическими показателями и высококачественной древесиной, формирует среду обитания, являясь поставщиком лекарственного и пищевого сырья, используемого в различных отраслях экономики. Из присущих ему качеств первостепенное значение отдается орехопродуктивности — способности к образованию шишек, содержащих кедровые орешки [2–14].

В работах [15, 16] акцентируется внимание на сосне кедровой сибирской как ценной орехоносной породе. Полезные и питательные семена, или так называемые кедровые орешки содержат большое количество белков, жиров, углеводов, макро-, микроэлементов и витаминов [2, 4, 6, 10, 11, 16, 17].

Для размножения сибирский кедр формирует микростробилы — мужские колоски, имеющие золотисто-красноватую окраску, и макростробилы — женские шишечки, имеющие красно-фиолетовую окраску [13, 18], с помощью которых образуются шишки (рис. 1) с семенами, так называемыми орешками, вызывающими широкий интерес и являющимися основополагающими для получения обильных урожаев.

Важнейшее направление селекции кедр сибирского (*Pinus sibirica* Du Tour) — отбор популяций и генотипов на обильные урожаи и высокое качество семян [19]. Условия произрастания, эдафические факторы, освещенность, влажность воздуха, погодные особенности сказываются на периодичности семеношения. Имеются сведения об изменчивости семенной продуктивности сосны кедровой сибирской в зависимости от мест произрастания и индивидуальных свойств,

обусловленных внешними факторами (например, неоднородностью погодных условий по годам генерации урожая) [20].

Авторы работы [21] пришли к выводу о том, что хорошее плодоношение возможно в случае, когда при закладке и опылении женских шишек наблюдается сравнительно сухая и теплая погода, а при развитии озоми — в меру влажная.

В трудах [22, 23] рассмотрены условия для произрастания сосны кедровой в условиях сезонности климата. Считается, что именно в оптимальных условиях произрастания исследуемая порода будет достигать высоких показателей по семенной продуктивности [3].

По ритму плодоношения в насаждениях выделяют кедровые три основных формы: 1) с очень неравномерным заложением шишек; 2) сравнительно равномерным; 3) неравномерным, которые дают высокие урожаи в годы преимущественно слабого плодоношения. Характер изменения динамики урожаев в многолетнем цикле у особей неодинаковый. Деревья различаются по общему числу лет с высокими урожаями, количеству и продолжительности высокоурожайных циклов, длительности интервалов между ними. Динамика и объем урожаев орехов у деревьев изменяются по годам. Наиболее четко проявляются индивидуальные особенности семеношения генотипа при низких урожаях на фоне одинакового изменения погодных условий (рис. 2).

Значительное влияние на формирование урожая семян кедрового оказывает гидротермический режим отдельных этапов развития (май — июль), особенно генеративной сферы. Критическими факторами, влияющими на опыление, являются повышенная влажность воздуха и низкая температура, характерные для условий Сибири, а также возвратные весенние заморозки. Для формирования шишек неблагоприятны и высокая температура воздуха, особенно на фоне дефицита влаги.

В целях обеспечения устойчивого воспроизводства лесов семенами лесных растений с ценными наследственными свойствами создаются объекты лесного семеноводства: плюсовые насаждения, плюсовые деревья (ПД), лесосеменные плантации (ЛСП), испытательные культуры, постоянные лесосеменные участки (ПЛСУ), архивы клонов ПД, маточные плантации, географические культуры, популяционно-экологические культуры.

Результаты и обсуждение

В Новосибирской обл. широко изучаются лесосеменные объекты кедровые в Бердском и Елбашинском лесосеменных участках Искитимского лесничества (таблица): ПЛСУ общей площадью 5,0 га; ЛСП — 52,3 га; архивы клонов — 20,2 га; маточные плантации — 3,5 га.



Рис. 1. Формирование шишек кедрового сибирского
Fig. 1. Cone formation of the Siberian cedar

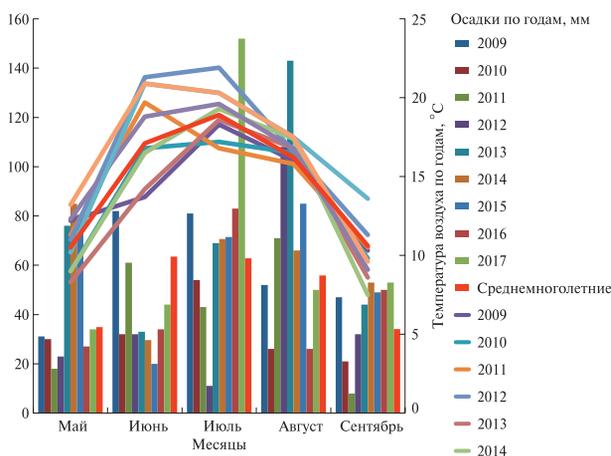


Рис. 2. Среднегодовые данные по температуре воздуха (°C) и количеству осадков (мм), гидрометеостанция «Искитим»

Fig. 2. Data on the mean annual air temperature and precipitation, mm by hydrometeorological station «Iskitim»

Хозяйственно возможный сбор семян определяется по учету урожая семян в объеме возможной заготовки со всех созданных и выделенных лесосеменных объектов для уточнения конкретных мест заготовки шишек, плодов и семян, по оперативному планированию объемов их заготовок, выявлению причин, которые могут вызвать повреждение или уменьшение урожая, а также с помощью методов количественного учета по III фазе семеношения.

Согласно сведениям о хозяйственно возможном сборе семян сосны кедровой в осенне-зимний период 2019–2020 гг. в Новосибирской обл., наибольший их сбор отмечен на ЛСП и составляет 2710 кг. Общий объем сбора со всех лесосеменных объектов составляет 5580 кг, в том числе: насаждения — 2700, постоянные лесосеменные участки — 170, лесосеменные плантации — 2710 [24–27].

Объем заготовки семян на ЛСП кедрового за период с 2009 по 2017 гг. сравнительно меньше потенциально возможного сбора с ЛСП (рис. 3).

Наличие лесосеменных объектов сосны кедровой сибирской в Искитимском лесничестве Новосибирской обл.

The presence of forest seed objects of Siberian cedar pine in the Iskitim forestry of the Novosibirsk region

Лесосеменной участок	Объект лесного семеноводства	Площадь объекта, га
Бердский	Постоянные лесосеменные участки	2,0
	Лесосеменные плантации	38,2
Елбашинский	Лесосеменные плантации	11,1
	Архивы клонов	3,0
	Архивы клонов	5,7
	Архивы клонов	14,5
	Маточные плантации	2,0
	Маточные плантации	1,5
	Испытательные культуры	4,5

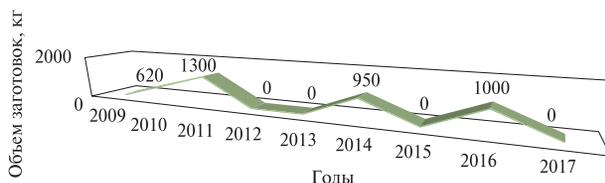


Рис. 3. Объем заготовок семян кедр за период 2009–2017 гг.
Fig. 3. The volume of harvested cedar seeds for the period 2009–2017

В этот период, в отдельные годы, отсутствовала заготовка семян кедр: 2009, 2012, 2013, 2015 и 2017 гг. В 2010, 2011, 2014 и 2016 гг. объем заготовок варьировал от 620 до 1300 кг [28].

На пробных площадях, закладываемых таким образом, чтобы они точнее характеризовали семеношение определенной древесной породы на лесосеменных объектах, проводился учет урожая семян. Определение количества шишек на конкретном лесосеменном объекте является основным требованием при учете урожая семян хвойных пород. Средний урожай на дерево определяют по относительной представленности деревьев разных категорий семеношения, а затем общий урожай шишек на 1 га [29]. Древесные породы подразделяют на классы по урожайности, определяют баллы семеношения [26]:

- 0 баллов — неурожай; количество шишек 0 шт.;
- 1 балл — незначительный урожай; количество шишек 10...50 шт.;
- 2 балла — слабый урожай; количество шишек 51...200 шт.;
- 3 балла — средний урожай; количество шишек 201...400 шт.;
- 4 балла — хороший урожай; количество шишек 401...1000 шт.;

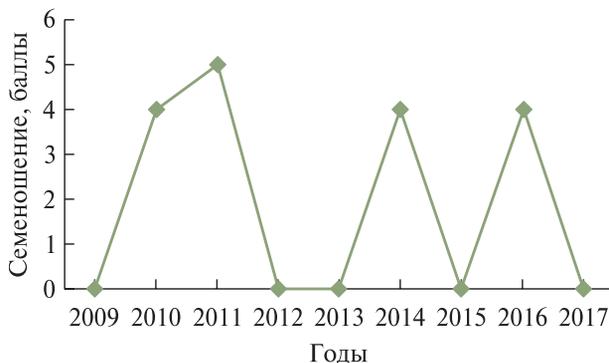


Рис. 4. Семеношение (в баллах) кедр за период 2009–2017 гг.
Fig. 4. Cedar seed production (in points) for the period 2009–2017

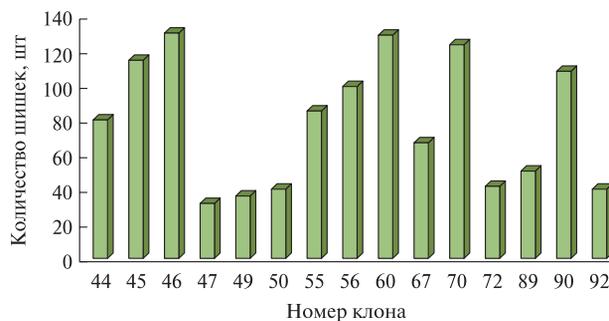


Рис. 5. Количество собранных шишек (среднее значение) сосны кедровой сибирской, рассчитанное по номеру клона в год
Fig. 5. The number of collected cones (average value) of Siberian cedar pine, calculated by the number of clones per year

5 баллов — обильный урожай; количество шишек > 1001 шт.

На ЛСП Елбашинского лесохозяйственного участка Искитимского лесничества обильный урожай отмечен у сосны кедровой сибирской в 2011 г., хороший — в 2010, 2014, 2016 гг., неурожай пришелся на 2009, 2012, 2013, 2015, 2017 гг. (рис. 4).

Один из главных признаков — число однолетних шишек на дереве — отражает потенциал семеношения и в совокупности с текущим урожаем зрелых шишек в некоторой мере усиливает вероятность прогноза за многолетний период.

Количество собранных шишек варьирует в среднем от 32 до 131 шт. Из 15 проанализированных клонов максимальными (более 100 шишек) значениями обладали клоны: 45, 46, 56, 60, 70 и 90, всего около 40 %. Менее 40 шишек отмечено только у двух клонов: 47 и 49, всего 13 % (рис. 5).

Общее число шишек в кроне зависит от количества женских побегов в кроне и среднего числа шишек на одном побеге. На тонких — до 1 см толщиной — побегах обычно формируется одна и очень редко две шишки; на средних — 1,5 см толщиной — 2...3 шишки, на более толстых — 2–2,5 см — 3...5, а в некоторых случаях и до 9 шишек.

По данным некоторых исследователей, существует тесная связь между погодными условиями и интенсивностью плодоношения, которую можно использовать для прогнозирования будущего урожая. Однако экстремальные погодные условия вносят существенные коррективы в нормальный ход репродуктивных процессов и приводят к массовой гибели макростробилов и ози́ми [30–33]. Поскольку, генеративные органы образуются ежегодно, объем урожая зависит, прежде всего, от оптимальных погодных условий: благоприятной температуры воздуха в конце мая и июне и комфортного количества осадков в период цветения и т. д. [20].

По данным анализа гидротермических условий в 2008 г., можно отметить, что в период массового пыления сосны кедровой среднемесячная температура воздуха и количество осадков во второй и третьей декаде мая были на уровне среднепогодного показателя, что способствовало хорошему опылению и формированию ози́ми. В 2008 г. количество осадков составило (30,0 мм) или 86 % от нормы, а среднемесячная температура воздуха — 12,5 °С, что превысило на 2 °С среднепогодную. В 2009 г. процесс оплодотворения и роста ози́ми проходил в оптимальных условиях с достаточным количеством влаги и в теплую погоду. Благоприятные годы закладки и формирования генеративной части растения определили хорошее плодоношение.

В 2012, 2013 гг. май характеризовался недостаточным увлажнением (около 50 % нормы) на фоне повышенной температуры воздуха по сравнению со среднепогодным значением, что неблагоприятно повлияло на развитие генеративной части и процесс сексуализации растения. В 2012 г. в июне отмечена температура воздуха выше среднепогодной на 4,3 °С, в июле на 2,5 °С, что ухудшило развитие шишки после опыления, замедлило процесс оплодотворения и развития зародыша. В 2013 г. гидротермический режим был благоприятным для оплодотворения и развития шишки, что определило получение большого урожая в 2014 г.

Выводы

Таким образом, наиболее важные периоды генеративного развития кедра сибирского приходятся на конец мая — июнь. В этот же период завершается эмбриональное развитие женских и мужских шишек с предыдущего года, происходит процесс опыления, а в двухлетних шишках совершается оплодотворение.

Годы массовых урожая и неурожая особенно интересны для изучения причин периодичности активного плодоношения, поскольку они наиболее полно отражают влияние погоды на урожай

и позволяют выявить не только селекционно-семеноводчески ценные формы, но и планировать годы заготовки семенного материала и сырья для переработки.

Список литературы

- [1] Белинский М.Н. Интродукция сосны кедровой сибирской и сосны кедровой корейской в условиях Московской области // 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 года. М.: МГУЛ, 2015. 220 с.
- [2] Бех И.А., Таран И.В. Сибирское чудо-дерево. Новосибирск: Наука, 1979. 127 с.
- [3] Велисевич С.Н. Структура урожая кедра сибирского на южной границе ареала в Западной Сибири // Лесоведение, 2013. № 2. С. 45–52.
- [4] Воробьев В.Н. Биологические основы комплексного использования кедровых лесов. Новосибирск: Наука, 1983. 254 с.
- [5] Земляной А.И. Итоги исследований семеношения кедра сибирского (*Pinus sibirica* Du Tour) в Западной Сибири // ГЕО-Сибирь, 2011. Т. 3. № 2. С. 161–164. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17933718> (дата обращения 26.03.2019).
- [6] Земляной А.И., Ильичев Ю.Н., Тараканов В.В. Межклоновая изменчивость кедра сибирского по элементам семенной продуктивности: перспективы отбора // Хвойные бореальной зоны. XXVII, 2010. № 1–2. С. 77–82.
- [7] Земляной А.И. О методике отбора плюс-деревьев кедра сибирского (*Pinus sibirica* Du Tour) по семенной продуктивности // Интерэкспо ГЕО-Сибирь, 2013. Т. 3. № 4. С. 80–84. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19410857> (дата обращения 26.03.2019).
- [8] Игнатенко М.М. Сибирский кедр. М.: Наука, 1988. 161 с.
- [9] Ильичев Ю.Н. Генетико-селекционные объекты кедра сибирского (*Pinus sibirica* Du Tour) в республике Алтай: структура, стратегия совершенствования и использования // Хвойные бореальной зоны. XXX, 2012. Т. 30. № 1–2. С. 87–91.
- [10] Казанцева М.Н., Спасибова М.М. Рост и продуктивность кедра Сибирского (*Pinus sibirica* Du Tour) в посадках дендрария Сибирской лесной опытной станции // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование, 2018. Т. 4. № 3. С. 94–107.
- [11] Крылов Г.В., Таланцев Н.К., Козакова Н.Ф. Кедр. М.: Лесная пром-сть, 1983. 216 с.
- [12] Матвеева Р.Н., Буторова О.Ф., Братилова Н.П. Изменчивость показателей роста и генеративного развития кедровых сосен на плантации зеленой зоны города Красноярска // Сибирский лесной журнал, 2014. № 2. С. 81–86.
- [13] Некрасова Т.П. Биологические основы семеношения кедра сибирского. Новосибирск: Наука, 1972. 273 с.
- [14] Некрасова Т.П. Области семенной продуктивности кедра сибирского на Западно-Сибирской равнине // Биология семенного размножения хвойных Западной Сибири / под ред. Некрасовой Т.П., Мишукова Н.П. Новосибирск: Наука, 1974. С. 3–15.
- [15] Бабич Н.А., Хамитов Р.С., Хамитова С.М. Селекция и семенная репродукция кедра сибирского. Вологда; Молочное: ВГМХА, 2014. 154 с.
- [16] Молотков П.И. Селекция лесных пород. М.: Лесная пром-сть, 1982. 223 с.
- [17] Таланцев Н.К., Пряжников А.Н., Мишуков Н.П. Кедровые леса. М.: Лесная пром-сть, 1978. 176 с.

- [18] Братилова Н.П., Матвеева Р.Н., Буторова О.Ф. Биология и формовое разнообразие сосны кедровой сибирской // Эко-потенциал, 2014. № 1 (5). С. 120–127. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21597019> (дата обращения 12.05.2020).
- [19] Матвеева Р.Н. Отбор деревьев кедрового сибирского высокой репродуктивной способности на географической лесосеменной плантации // Лесной журнал, 2017. № 2. С. 9–20.
- [20] Хамитов Р.С., Андропова М.А., Антонов А.М. Изменчивость сосны кедровой сибирской по урожайности шишек в условиях интродукции // Лесной журнал, 2018. № 3. С. 84–91.
- [21] Данченко А.М., Бех И.А. Ресурсы кедрового ореха в Томской области // Вестник ТГУ, 2007. № 300. С. 122–126.
- [22] Mirgov N.T. The genus Pinus. N. Y.: Ronald, 1967, 602 p.
- [23] Горошкевич С.Н. Динамика роста и плодоношения кедрового сибирского. Уровень и характер изменчивости признаков // Экология, 2008. № 3. С. 181–188.
- [24] Федеральный Закон от 17.12.1997 г. № 149-ФЗ «О семеноводстве» (с изменениями и дополнениями). URL: <https://base.garant.ru/12106441/> (дата обращения 28.03.2019).
- [25] Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ № 438 «Об утверждении правил создания и выделения объектов лесного семеноводства». URL: <http://docs.cntd.ru/document/420314538> (дата обращения 29.03.2019).
- [26] Указания по лесному семеноводству в Российской Федерации. М.: ВНИИЦлесресурс, 2000. 198 с.
- [27] Хозяйственно возможный сбор семян сосны кедровой в осенне-зимний период 2019–2020 гг. URL: <http://rcfh.ru/userfiles/files/Possible%20economic%20harvesting%20of%20pine%20seeds%20during%20autumn%20and%20winter%20period%202019-2020.pdf>. (дата обращения 14.05.2020).
- [28] Тараканов В.В., Дубовик Д.С., Роговцев Р.В., Зацепина К.Г., Бугаков А.В., Гончарова Т.В. Состояние и перспективы развития генетико-селекционного комплекса хвойных пород в Сибири (на примере Новосибирской области) // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование, 2019. № 3 (43). С. 5–24. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41358072> (дата обращения 12.05.2020).
- [29] Ушаков М.И. Капралов А.В., Денеко В.Н. Лесосеменное дело. Ч. II. Екатеринбург: УГЛТУ, 2018. 28 с.
- [30] Путенихин В.П., Путенихина К.В., Шигапов З.Х. Кедр сибирский в Башкирском Предуралье и на Южном Урале: биологические и лесоводственные особенности при интродукции. Уфа: Башкирская энциклопедия, 2017. 248 с.
- [31] Раевский Б.В. Прогноз урожайности шишек и семян на лесосеменных плантациях сосны обыкновенной в Карелии // Хвойные бореальной зоны. XXX, 2012. № 1–2. С. 162–168.
- [32] Мишуков Н.П. О видовой принадлежности сибирского кедрового // Лесной вестник, 2000. № 4. С. 21–28.
- [33] Хамитова С.М. Особенности репродукции сосны кедровой сибирской в условиях интродукции: на примере Вологодской области: дис. ... канд. с.-х. наук. Вологда, 2012. 129 с.

Сведения об авторах

Паркина Оксана Валерьевна — канд. с.-х. наук, заведующий кафедрой лесного хозяйства, ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный университет», Parkinaoksana@yandex.ru

Третьякова Раиса Алексеевна — аспирант, ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный университет», rtretyakova@yandex.ru

Галецкая Галина Анатольевна — канд. с.-х. наук, начальник производственно-технологического отдела, Западно-сибирский филиал ФГБУ «Рослесинфорг», schigal2008@rambler.ru

Поступила в редакцию 22.05.2020.

Принята к публикации 10.08.2020.

DYNAMICS OF SIBERIAN PINE (*PINUS SIBIRICA*) SEED PRODUCTION IN NOVOSIBIRSK REGION

O.V. Parkina¹, R.A. Tretyakova¹, G. A. Galitskaya²

¹Novosibirsk state agrarian University, 160, Dobrolyubova st., 630039, Novosibirsk, Russia

²West Siberian branch of FSUE Roslesinforg, 137/1, Nemirovich-Danchenko st., 630048, Novosibirsk, Russia

Parkinaoksana@yandex.ru

The results of an analytical review and evaluation of long-term experimental data on the dynamics of seed-bearing of Siberian pine in the Novosibirsk region at the objects of the forest seed base in the Iskitim forestry are presented. The analysis of the development of the generative part of the cedar depending on the hydrothermal conditions of the years of study and the individual variability of clones. The data obtained indicate that the growing conditions and humidity, as well as the temperature factor affect the periodicity of seed production. The years that differ in the volume of cedar seed harvesting for the period 2009–2017 are highlighted. Years of mass harvests and crop failures need to be investigated to study the causes of periodicity of fruiting and features of the process of pollination, fertilization and development of cones.

Keywords: Siberian cedar, fruiting, seed productivity, hydrothermal factors

Suggested citation: Parkina O.V., Tretyakova R.A., Galitskaya G.A. *Dinamika semenosheniya sosny kedrovoy sibirskoy (Pinus sibirica) v usloviyakh Novosibirskoy oblasti* [Dynamics of Siberian pine (*Pinus sibirica*) seed production in Novosibirsk region]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 6, pp. 44–50.

DOI: 10.18698/2542-1468-2020-6-44-50

References

- [1] Belinskiy M.N. *Introduktsiya sosny kedrovoy sibirskoy i sosny kedrovoy koreyskoy v usloviyakh Moskovskoy oblasti* [Introduction of Siberian cedar pine and Korean cedar pine in the Moscow region]. *Lesa Evrazii — Bol'shoy Altay: Materialy XV Mezhdunarodnoy konferentsii molodykh uchenykh, posvyashchennoy 150-letiyu so dnya rozhdeniya professora G.N. Vysotskogo* [Forests of Eurasia — Great Altai: Proceedings of the XV International conference of young scientists dedicated to the 150th anniversary of the birth of Professor G.N. Vysotsky], Barnaul, September 13–20, 2015. Moscow: MGUL, 2015, 220 p.
- [2] Bekh I.A., Taran I.V. *Sibirskoe chudo-derevo* [Siberian miracle tree]. Novosibirsk: Nauka, 1979, 127 p.
- [3] Velisevich S.N. *Struktura urozhaya kedra sibirskogo na yuzhnoy granitse areala v Zapadnoy Sibiri* [The structure of the harvest of Siberian cedar on the southern border of the range in Western Siberia]. *Russian Journal of Forest Science*, 2013, no. 2, pp. 45–52.
- [4] Vorob'ev V.N. *Biologicheskie osnovy kompleksnogo ispol'zovaniya kedrovyykh lesov* [Biological bases of integrated use of cedar forests]. Novosibirsk: Nauka, 1983, 254 p.
- [5] Zemlyanoy A.I. *Itogi issledovaniy semenosheniya kedra sibirskogo (Pinus sibirica Du Tour) v Zapadnoy Sibiri* [Results of research into seed production of Siberian cedar (*Pinus sibirica* Du Tour) in Western Siberia]. *GEO-Sibir' [GEO-Siberia]*, 2011, t. 3, no. 2, pp. 161–164. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17933718> (accessed 26.03.2019).
- [6] Zemlyanoy A.I., Il'ichev Yu.N., Tarakanov V.V. *Mezhklonovaya izmenchivost' kedra sibirskogo po elementam semennoy produktivnosti: perspektivy otbora* [Interclonal variability of Siberian stone pine by elements of seed productivity: prospects for selection]. *Khvoynye boreal'noy zony. XXVII [Coniferous boreal zone. XXVII]*, 2010, no. 1–2, pp. 77–82.
- [7] Zemlyanoy A.I. *O metodike otbora plus-derev'ev kedra sibirskogo (Pinus sibirica Du Tour) po semennoy produktivnosti* [On the method of selection of Siberian cedar plus-trees (*Pinus sibirica* Du Tour) by seed productivity]. *GEO-Sibir' [GEO-Siberia]*, 2013, v. 3, no. 4, pp. 80–84. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19410857> (accessed 26.03.2019).
- [8] Ignatenko M.M. *Sibirskiy kedr* [Siberian cedar]. Moscow: Nauka, 1988, 161 p.
- [9] Il'ichev Yu.N. *Genetiko-selektionnye ob'ekty kedra sibirskogo (Pinus sibirica Du Tour) v respublike Altay: struktura, strategiya sovershenstvovaniya i ispol'zovaniya* [Genetic selection objects of Siberian cedar (*Pinus sibirica* Du Tour) in the Altai Republic: structure, strategy for improvement and use]. *Khvoynye boreal'noy zony. XXX [Coniferous boreal zone. XXX]*, 2012, t. 30, no. 1–2, pp. 87–91.
- [10] Kazantseva M.N., Spasibova M.M. *Rost i produktivnost' kedra Sibirskogo (Pinus sibirica Du Tour) v posadkakh dendrariya Sibirskoy lesnoy opytной stantsii* [Growth and productivity of Siberian cedar (*Pinus sibirica* Du Tour) in plantings of the arboretum of the Siberian forest experimental station]. *Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekologiya i prirodopol'zovanie* [Bulletin of the Tyumen State University. Ecology and nature management], 2018, v. 4, no. 3, pp. 94–107.
- [11] Krylov G.V., Talantsev N.K., Kozakova N.F. *Kedr* [Cedar]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forest Industry], 1983, 216 p.
- [12] Matveeva R.N., Butorova O.F., Bratilova N.P. *Izmenchivost' pokazateley rosta i generativnogo razvitiya kedrovyykh sosen na plantatsii zelenoy zony goroda Krasnoyarska* [Variability of growth indicators and generative development of cedar pines on plantations in the green zone of the city of Krasnoyarsk]. *Sibirskiy lesnoy zhurnal* [Siberian Forest Journal], 2014, no. 2, pp. 81–86.
- [13] Nekrasova T.P. *Biologicheskie osnovy semenosheniya kedra sibirskogo* [Biological bases of Siberian cedar seed production]. Novosibirsk: Nauka, 1972, 273 p.
- [14] Nekrasova T.P. *Oblasti semennoy produktivnosti kedra sibirskogo na Zapadno-Sibirskoy ravnine* [Areas of seed productivity of Siberian cedar in the West Siberian Plain]. *Biologiya semennoy razmnozheniya khvoynykh Zapadnoy Sibiri* [Biology of seed reproduction of conifers in West Siberia]. Eds. Nekrasova T.P., Mishukov N.P. Novosibirsk: Nauka, 1974, pp. 3–15.
- [15] Babich N.A., Khamitov R.S., Khamitova S.M. *Selektsiya i semennaya reproduktsiya kedra sibirskogo* [Breeding and seed reproduction of Siberian cedar]. Vologda-Molochnoe: VGMKha, 2014, 154 p.

- [16] Molotkov P.I. *Seleksiya lesnykh porod* [Selection of forest species]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forest Industry], 1982, 223 p.
- [17] Talantsev N.K., Pryazhnikov A.N., Mishukov N.P. *Kedrovye lesa* [Cedar forests]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forest Industry], 1978, 176 p.
- [18] Bratilova N.P., Matveeva R.N., Butorova O.F. *Biologiya i formovoe raznoobrazie sosny kedrovoy sibirskoy* [Biology and form diversity of Siberian cedar pine]. *Eko-potentsial* [Eco-potential], 2014, no. 1 (5), pp. 120–127. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21597019> (accessed 12.05.2020).
- [19] Matveeva R.N. *Otbor derev'ev kedra sibirskogo vysokoy reproduktivnoy sposobnosti na geograficheskoy lesosemennoy plantatsii* [Selection of Siberian cedar trees of high reproductive capacity on a geographical forest seed plantation]. *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2017, no. 2, pp. 9–20.
- [20] Khamitov R.S., Andronova M.A., Antonov A.M. *Izmenchivost' sosny kedrovoy sibirskoy po urozhaynosti shishek v usloviyakh introduksii* [Variability of Siberian cedar pine in the yield of cones under conditions of introduction]. *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2018, no. 3, pp. 84–91.
- [21] Danchenko A.M., Bekh I.A. *Resursy kedrovogo orekha v Tomskoy oblasti* [Pine nut resources in the Tomsk region]. *Vestnik TGU*, 2007, no. 300, pp. 122–126.
- [22] Mirov N.T. *The genus Pinus*. N.-Y.: Ronald, 1967, 602 p.
- [23] Goroshkevich S.N. *Dinamika rosta i plodonosheniya kedra sibirskogo. Uroven' i kharakter izmenchivosti priznakov* [Dynamics of growth and fruiting of Siberian cedar. The level and nature of variability of signs]. *Ekologiya* [Ecology], 2008, no. 3, pp. 181–188.
- [24] *Federal'nyy Zakon ot 17.12.1997 g. № 149-FZ «O semenovodstve» (s izmeneniyami i dopolneniyami)* [Federal Law of 17.12.1997 No. 149-FZ «On seed production» (with amendments and additions)]. Available at: <https://base.garant.ru/12106441/> (accessed 28.03.2019).
- [25] *Prikaz Ministerstva prirodnykh resursov i ekologii RF № 438 «Ob utverzhdenii pravil sozdaniya i vydeleniya ob'ektov lesnogo semenovodstva»* [Order of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation No. 438 «On approval of the rules for the creation and allocation of forest seed production facilities»]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/420314538> (accessed 03.29.2019).
- [26] *Ukazaniya po lesnomu semenovodstvu v Rossiyskoy Federatsii* [Guidelines for forest seed production in the Russian Federation]. Moscow: VNIITslesresurs, 2000, 198 p.
- [27] *Khozyaystvenno-vozmozhnyy sbor semyan sosny kedrovoy v osenne-zimniy period 2019–2020 gg.* [Economic-possible collection of cedar pine seeds in the autumn-winter period of 2019–2020]. Available at: <http://rcfh.ru/userfiles/files/Possible%20economic%20harvesting%20of%20pine%20seeds%20during%20autumn%20and%20winter%20period%202019–2020.pdf>. (accessed 14.05.2020).
- [28] Tarakanov V.V., Dubovik D.S., Rogovtsev R.V., Zatsepina K.G., Bugakov A.V., Goncharova T.V. *Sostoyanie i perspektivy razvitiya genetiko-seleksionnogo kompleksa khvoynykh porod v Sibiri (na primere Novosibirskoy oblasti)* [State and prospects for the development of the genetic selection complex of conifers in Siberia (by the example of the Novosibirsk region)]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta*. Ser.: Les. *Ekologiya. Prirodopol'zovanie* [Bulletin of the Volga State Technological University]. Ser.: Forest. Ecology. Nature management, 2019, no. 3 (43), pp. 5–24. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41358072> (accessed 12.05.2020).
- [29] Ushakov M.I., Kapralov A.V., Deneko V.N. *Lesosemennoe delo. Ch. II* [Forest seed business. Part II]. Ekaterinburg: UGLTU, 2018, 28 p.
- [30] Putenikhin V.P., Putenikhina K.V., Shigapov Z.Kh. *Kedr sibirskiy v Bashkirskom Predural'e i na Yuzhnom Urale: biologicheskie i lesovodstvennye osobennosti pri introduksii* [Siberian cedar in the Bashkir Urals and South Urals: biological and silvicultural features during introduction]. Ufa: Bashkir Encyclopedia, 2017, 248 p.
- [31] Raevskiy B.V. *Prognoz urozhaya shishek i semyan na lesosemennykh plantatsiyakh sosny obyknovnoy v Karelii* [Forecast of the yield of cones and seeds on forest seed plantations of Scots pine in Karelia]. *Khvoynye boreal'noy zony. XXX* [Coniferous boreal zones. XXX], 2012, no. 1–2, pp. 162–168.
- [32] Mishukov N.P. *O vidovoy prinadlezhnosti sibirskogo kedra* [On the species belonging of the Siberian cedar]. *Lesnoy vestnik* [Lesnoy Vestnik], 2000, no. 4, pp. 21–28.
- [33] Khamitova S.M. *Osobennosti reproduksii sosny kedrovoy sibirskoy v usloviyakh introduksii: na primere Vologodskoy oblasti* [Features of reproduction of Siberian cedar pine in conditions of introduction: on the example of the Vologda region]. *Dis. Sci. (Agric.)*. Vologda, 2012, 129 p.

Authors' information

Parkina Oksana Valer'evna — Cand. Sci. (Agriculture), Head of the Department of Forestry of the Novosibirsk State Agrarian University, Parkinaoksana@yandex.ru

Tret'yakova Raisa Alekseevna — Pg. student of the Novosibirsk State Agrarian University, rtreyakova@yandex.ru

Galetskeya Galina Anatol'evna — Cand. Sci. (Agriculture), Head of Production and Technology Department, West Siberian Branch of FSBI «Roslesinform», schigal2008@rambler.ru

Received 22.05.2020.

Accepted for publication 10.08.2020.

МОРФОЛОГО-АНАТОМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ХВОИ У СЕМЕННОГО И РАЗНОВОЗРАСТНОГО ВЕГЕТАТИВНОГО ПОТОМСТВА МУТАЦИОННЫХ «ВЕДЬМИНЫХ МЕТЕЛ» *PINUS SIBIRICA* DU TOUR

О.И. Полякова^{1,2}

¹Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, 634055, г. Томск, пр. Академический, д. 10/3

²Национальный исследовательский Томский государственный университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 36

polyakova_olga93@mail.ru

Исследованы три объекта: 1) клоны мутационных «ведьминых метел» и нормальной кроны, привитые попарно на одном подвое; 2) мутантное семенное потомство «ведьминых метел»; 3) клоны мутантного семенного потомства «ведьминых метел». Показано, что на морфолого-анатомические характеристики хвои оказывают влияние как наличие и степень выраженности мутации, так и возраст материнского дерева и наличие подвоя. Каждый фактор, а также взаимодействие некоторых факторов вносит значительный вклад в различия между группами по основным характеристикам хвои. Установлено формирование самой короткой хвои у мутантного семенного потомства и его клонов, которые имеют меньшие площади центрального цилиндра, смоляных каналов, мезофилла и сосудисто-волокнистого пучка. Определены различия морфолого-анатомических признаков хвои между семьями: в группах мутантного семенного потомства и клонов мутантного семенного потомства у семьи 054 хвоя была длиннее и толще по сравнению с семьей 08. Установлено, что длина хвои является довольно консервативным признаком семьи. Приведено объяснение некоторых различий между группами из разных семей «ведьминых метел», заключающихся в естественном разнообразии материнских «ведьминых метел».

Ключевые слова: «ведьмины метла», хвоя, семенное потомство, клоны, морфологические и анатомические признаки

Ссылка для цитирования: Полякова О.И. Морфолого-анатомические особенности хвои у семенного и разновозрастного вегетативного потомства мутационных «ведьминых метел» *Pinus sibirica* Du Tour // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 6. С. 51–57. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-6-51-57

Мутационная «ведьмины метла» (ВМ) — фрагмент кроны дерева с аномальным морфогенезом, который проявляется в медленном росте побегов, усиленном ветвлении и сниженном апикальном доминировании [1, 2]. Мутационные ВМ, в отличие от НК, вызванных заражением грибами или микроорганизмами, имеют здоровый вид, нормальную жизнеспособность и высокую долговечность [3, 4]. Причиной появления таких ВМ считают соматические мутации, происходящие в апикальной меристеме [5, 6]. Признаки, характеризующие форму, размер и плотность кроны придают уникальный внешний вид каждой ВМ [1, 2].

Многие аспекты морфогенеза ВМ отличаются от морфогенеза нормальной кроны (НК). Побеги ВМ обычно намного короче и толще по сравнению с побегами НК [1, 2, 7]. У ВМ диаметр ствола больше, чем у НК [1, 2, 8] и намного больше боковых ветвей [9, 10], а их апикальное доминирование существенно снижено, а иногда и вовсе отсутствует [1, 11].

Одним из важнейших признаков, четко отличающих ВМ от НК, является длина хвои [2, 12].

Проведены работы по изучению анатомических признаков хвои ВМ. Детальный сравнительный анализ анатомо-морфологических признаков хвои ВМ и НК проведен для пихты сибирской

(*Abies sibirica* Ledeb.) [13], сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) [14], ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) [10] и сосны кедровой сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour) [12]. Показано, что длина хвои у ВМ обычно в 1,1–3,0 раза меньше по сравнению с НК. По толщине хвои результаты различались между видами. Хвоя ВМ была толще по сравнению с НК у ели сибирской [10] и пихты сибирской [13], и тоньше у сосны обыкновенной [14] и сосны кедровой сибирской [12]. Как правило, чем интенсивнее ветвление ВМ и выше плотность ее кроны по сравнению с НК, тем сильнее отличия по анатомо-морфологическим признакам хвои между ВМ и НК [10, 12].

Важнейшим фактором, влияющим на характеристики хвои, является также возраст дерева. Как правило, у сеянцев и молодых деревьев хвоя толще и имеет большие площади мезофилла и центрального цилиндра [15, 16]. Все указанные работы проведены на вегетативном потомстве ВМ и НК и оценено только влияние мутации на структуру хвои. Влияние возраста маточника и подвоя на структуру хвои ВМ пока не изучено. Для определения влияния обоих факторов (семьи и возраста) на морфо-анатомические особенности хвои актуально исследование корнесобственного и вегетативного потомства ВМ разного возраста.

Цель работы

Цель работы — исследование влияния семьи, возраста дерева и наличия подвой на морфолого-анатомические характеристики хвои сосны кедровой сибирской на примере корнесобственного мутантного семенного потомства, клонов мутантного семенного и вегетативного потомства ВМ и НК.

Материалы и методы

Исследование проведено по трем объектам: 1) клонам мутационных ВМ и НК, привитым попарно на одном дереве; 2) мутантному семенному потомству ВМ; 3) клонам мутантного семенного потомства ВМ. Объекты происходили из двух семей ВМ под номерами 08 и 054 и соответствующих им НК под номерами 09 и 055 (табл. 1). Эксперимент проводился на стационаре «Кедр» Института мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск (56°13' с. ш., 84°51' в. д.). Семена ВМ и черенки для прививок ВМ и НК собраны с двух деревьев, произраставших в Обь-Томском междуречье в равнинном припоселковом кедровнике в 30 км от г. Томска (56°10' с. ш., 84°00' в. д.). Сбор семян с ВМ проведен в конце августа 1997 г., нарезка черенков в апреле 2000 г.

Посев семян в открытый грунт проводили в мае 1998 г. после периода стратификации (6 мес при температуре от 0 до +5 °С). Сеянцы рассаживали в августе 2003 г. с размещением 0,5 × 0,5 м.

В 2000 г. черенки с ВМ и НК были привиты на пятилетний подвой сосны кедровой сибирской местного экотипа таким образом, что один подвой имел два привоя разного типа. Привитые растения были размещены в клоновом архиве стационара с размещением 3 × 3 м.

В 2007–2008 гг. черенки, взятые от выращенного мутантного семенного потомства, были привиты на пятилетний подвой сосны кедровой сибирской местного экотипа. Привитые растения выращивали на расстоянии 1,0 × 0,5 м в рядах.

Для исследования структуры хвои сбор однолетней хвои проводили в конце вегетационного периода 2016 г. У каждого клона было отобрано по одной хвоинке из 10 брахибластов главного побега. Хвою фиксировали в 70%-м растворе этанола. Поперечные срезы из средней части хвои делали толщиной 30 мкм с помощью ротационного микротомы НМ 325 (Thermo Fischer Scientific, США) с примораживающим столом KS 34 (Thermo Fischer Scientific, США). Измерения проводили с помощью программно-аппаратного комплекса, включающего в себя световой микроскоп Axio Lab.A1 (Karl Zeiss, Германия), видеокамеру AxioCam ERc 5s (Karl Zeiss, Германия) и программное обеспечение ZEN 2011 Lite (Karl Zeiss, Германия). Измеряли следующие признаки:

- длину хвои, см (L);
- ширину хвои, мкм (W_{XB});
- толщину хвои, мкм (Th_{XB});
- отношение ширины хвои к ее толщине (W_{XB}/Th_{XB});
- площадь поперечного сечения хвои, мкм² ($S_{п.с}$);
- площадь центрального цилиндра, мкм² ($S_{ц.ц}$);
- суммарная площадь смоляных каналов, мкм² ($S_{с.к}$);
- площадь мезофилла, мкм² (S_M);
- отношение площади мезофилла к площади остальных тканей (S_M/S_{TK});
- площадь сосудисто-волокнистого пучка, мкм² ($S_{с.в.п.}$).

Нормальность распределения выборок проверяли с использованием теста Колмогорова —

Т а б л и ц а 1

Характеристика ВМ и объектов исследования

Characterization of studied objects and WB

Номер ВМ	Номер НК	Характеристика ВМ			Объекты исследования	Возраст материнского дерева, лет	Возраст ВМ, лет	Возраст клона или сеянца, лет
		Высота, м	Диаметр, м	Плотность кроны				
08	09	1,75	1,5	высокая	1. Клоны материнского дерева от НК и ВМ	170	80	17
					2. Мутантное семенное потомство ВМ	–	–	19
					3. Клоны мутантного семенного потомства ВМ	9	–	10
054	055	3,8	5,0	низкая	1. Клоны материнского дерева от НК и ВМ	180	90	17
					2. Мутантное семенное потомство ВМ	–	–	19
					3. Клоны мутантного семенного потомства ВМ	10	–	9

Смирнова. Поскольку все признаки показали нормальное распределение, для сравнения групп использовали однофакторный дисперсионный анализ и тест Ньюмена — Кейлса.

Результаты и обсуждение

Каждый фактор (влияние семьи, возраст маточника и наличие подвоя), а также взаимодействие факторов вносит значительный вклад в различия между группами по основным характеристикам хвои, доля вклада каждого фактора различалась (табл. 2). Влияние наличия подвоя было значительным по всем признакам хвои, тогда как влияние семьи, а также взаимодействия обоих факторов отмечено только по одному признаку — длине хвои. Это говорит о том, что длина хвои является достаточно консервативным признаком семьи, который остается более или менее стабильным даже под влиянием других факторов.

Сравнительный анализ морфолого-анатомических признаков показал значительные различия по многим признакам между хвоей клонов ВМ и НК (табл. 3). По большинству признаков значения выше у хвои НК в семье 054 и у хвои ВМ в семье 08. Однако по некоторым признакам различия не наблюдались.

Самая короткая хвоя формировалась у мутантного семенного потомства и клонов мутантного семенного потомства, самая длинная — у клонов ВМ и НК. Наименьшую ширину и толщину хвои имело мутантное семенное потомство обеих семей и клоны мутантного семенного потомства семьи 08. Наибольшая ширина и толщина хвои отмечена у ВМ в семье 08, а в семье 054 — у клонов мутантного семенного потомства. За счет больших ширины и толщины хвои клоны мутантного семенного потомства имели наибольшую площадь поперечного сечения хвои в семье 054. Но преимущественно привои НК и ВМ характеризовались большей площадью поперечного сечения хвои. Мутантное семенное потомство и клоны мутантного семенного потомства также имели меньшие площади центрального цилиндра, смоляных каналов, мезофилла и сосудисто-волокнистого пучка.

Длина, ширина и толщина хвои у корнесобственных растений были меньше по сравнению с таковыми у клонов. Большинство анатомических признаков хвои (площади поперечного сечения, центрального цилиндра, мезофилла и сосудисто-волокнистого пучка) также были меньше в группе корнесобственных растений. Число срезов, имевших всего два смоляных канала вместо обычных трех, было выше в группе корнесобственных растений.

Таким образом, в отличие от ранее проведенных работ, в которых длина и большинство ана-

Т а б л и ц а 2

Анализ дисперсии (степеней свободы (*df*), сумма квадратов отклонений (*SS*), значения *F* критерия (отношение средних квадратов эффекта к средним квадратам ошибки) и значимости различий (*p*)) морфологических характеристик хвои клонов ВМ, мутантного семенного потомства и мутантных клонов семенного потомства ВМ

Analysis of Variance (degrees of freedom (*df*), sum of squares (*SS*), *F*-value and significance of differences (*p*)) for morphological traits of needles in clones WB, mutant seedlings and clones of mutant seedlings

Фактор	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	Вклад фактора, %
<i>L</i>					
Семья	1	17,7	13,9	<0,001	7,9
Наличие подвоя	1	55,7	43,6	<0,001	24,7
Семья × наличие подвоя	1	25,3	19,8	<0,001	11,2
Ошибка	105	134,3	—	—	—
Всего	108	225,3	—	—	—
<i>W_{xb}</i>					
Семья	1	15375	1,4	0,242	1,0
Наличие подвоя	1	252564	22,7	<0,001	17,5
Семья × наличие подвоя	1	1111	0,1	0,753	0,1
Ошибка	105	1167555	—	—	—
Всего	108	1446161	—	—	—
<i>Th_{xb}</i>					
Семья	1	14866	1,8	0,186	1,2
Наличие подвоя	1	331221	39,4	<0,001	26,7
Семья × наличие подвоя	1	3354	0,4	0,529	0,3
Ошибка	105	881913	—	—	—
Всего	108	1239277	—	—	—

томических признаков хвои ВМ были меньше по сравнению с таковыми у хвои НК [12, 13], нами обнаружено существенно меньше различий, а в одной из семей длина, ширина и толщина хвои, а также площади поперечного сечения, центрального цилиндра и мезофилла у хвои ВМ были больше. Это могло быть вызвано тем, что ВМ и НК привиты на одном дереве, тогда как в предыдущих работах использовались отдельные подвои, и ВМ оказывала угнетающее действие на НК. В природе мутационная ВМ оказывает именно такое влияние на ветвь, на которой она формируется [1, 17].

Т а б л и ц а 3

Морфолого-анатомические признаки хвои ВМ, НК, мутантного семенного потомства (СП) и клонов мутантного семенного потомства (среднее ± стандартное отклонение)

Morphological and anatomical features of needles in WB, NC, mutant seedlings (SP) and clones of mutant seedlings (mean ± standard deviation)

Признак	09НК	08ВМ	08СП	08 клоны СП	055НК	054ВМ	054СП	054 клоны СП
L , см	8,4 ± 0,6 a	8,8 ± 0,7 a	4,8 ± 0,6 c	6,6 ± 1,3 b	8,4 ± 0,8 a	7,3 ± 0,3 b	6,7 ± 1,2 b	7,1 ± 1,0 b
W_{XB} , МКМ	1015,7 ± 51,5 b	1042,7 ± 144,6 b	781,6 ± 77,2 c	812,3 ± 54,8 ac	876,0 ± 60,5 a	817,4 ± 112,9 ac	813,1 ± 55,8 ac	937,2 ± 78,1 d
Th_{XB} , МКМ	967,3 ± 48,1 d	1016,7 ± 138,1 d	738,5 ± 66,7 e	790,0 ± 46,0 be	854,8 ± 48,9ac	826,2 ± 55,5ab	774,5 ± 48,3 be	895,8 ± 68,6 c
W_{XB}/Th_{XB}	1,1 ± 0,1 ac	1,0 ± 0,0 ab	1,1 ± 0,0 c	1,0 ± 0,0 ab	1,0 ± 0,0 ab	1,0 ± 0,1 b	1,0 ± 0,1 ac	1,0 ± 0,1 ac
$S_{п.с.} \times 10^3$ МКМ ²	664,7 ± 62,5 c	741,5 ± 185,4 d	386,5 ± 69,6 b	450,1 ± 54,4 b	523,5 ± 62,3 a	513,9 ± 48,2 a	427,2 ± 54,3 b	569,4 ± 84,4 a
$S_{п.ц.} \times 10^3$ МКМ ²	138,2 ± 17,1 c	163,8 ± 44,3 d	77,1 ± 19,3 e	98,9 ± 16,8 b	111,3 ± 16,0 ab	109,3 ± 10,0 ab	92,1 ± 12,5 be	123,6 ± 26,5 ac
$S_{с.к.} \times 10^3$ МКМ ²	46,8 ± 4,8 b	48,7 ± 12,5 b	36,3 ± 5,5 ac	30,5 ± 4,3 d	35,2 ± 5,8 acd	40,3 ± 6,6 ab	32,6 ± 6,0 cd	44,6 ± 9,2 b
$S_{м.} \times 10^3$ МКМ ²	374,6 ± 39,7 c	415,6 ± 104,4 d	209,4 ± 41,9 b	244,9 ± 31,2 b	288,7 ± 38,1 a	282,0 ± 31,2 a	232,8 ± 35,0 b	316,4 ± 51,7 a
$S_{м.}/S_{тк}$	1,3 ± 0,1 a	1,3 ± 0,1 a	1,2 ± 0,1 a	1,2 ± 0,1 a	1,2 ± 0,1 a	1,2 ± 0,1 a	1,2 ± 0,1 a	1,3 ± 0,2 a
$S_{с.в.п.} \times 10^3$ МКМ ²	20,5 ± 2,1 ad	23,6 ± 8,6 d	11,3 ± 2,3 b	13,2 ± 2,8 b	20,6 ± 3,9 a	18,3 ± 3,2 ac	13,4 ± 2,3 b	16,6 ± 3,6 c

Примечание. Буквы (a, b, c, d, e) показывают наличие статистически значимых отличий между клонами ВМ, клонами НК, семенного потомства ВМ и клонов семенного потомства ВМ по результатам однофакторного дисперсионного анализа, тест Ньюмана — Кейлса ($p < 0,05$); совпадающие буквы указывают на отсутствие статистически значимых отличий между объектами.

В отличие от других исследований, где было показано, что взрослые деревья уступают молодым по многим морфолого-анатомическим признакам хвои [16, 18, 19], у взрослых клонов ВМ эти признаки были больше по сравнению с молодыми. В предыдущих работах авторы предполагали, что превосходство молодых деревьев может быть связано с недостатком водообеспеченности в верхней части кроны взрослых крупных деревьев [15, 20]. По нашему мнению, у ВМ недостаток влаги в верхней части кроны крайне маловероятен, что связано с небольшим размером взрослых растений. Помимо хорошей водообеспеченности другой причиной больших размеров хвои у взрослых клонов было, очевидно, наличие подвоя. Известно, что прививка является одним из наиболее часто используемых методов стимулирования омоложения зрелых деревьев, влияющим на весь комплекс морфологических признаков дерева, включая длину и толщину хвои [21–24]. В нескольких работах описано, что ВМ, привитые на подвой с нормальным ветвлением, в первый год после прививки росли лучше материнских ВМ и в некоторой степени восстанавливали обычный габитус, однако через некоторое время характерный внешний вид ВМ возвращался [5, 25].

Подвой оказывает влияние на рост привоя, а также продуктивность, может ускорять наступление плодоношения, повышать устойчивость к стрессовым факторам и патогенам [26–28]. В работе по изучению влияния корневой системы на скорость роста было установлено, что привои, привитые на подвой быстрорастущих видов имели в среднем более высокий рост, чем на собственных корнях, и меньший темп роста на подвоях медленнорастущих видов [29]. Морфолого-анатомические признаки хвои у корнесобственных растений были меньше по сравнению с привитыми растениями. Семенное происхождение растений оказывало значительное влияние на все признаки хвои.

Семенное потомство, в отличие от клонов ВМ, не имеет идентичного с материнской ВМ генома, а наследует половину генома от отцовского растения. Однако маловероятно, что имеет место отцовский вклад в разнообразие по длине хвои, поскольку ВМ сосны кедровой сибирской не формируют микростробилы и опыление происходит полностью от нормальных деревьев [1, 30].

Различия между группами из разных семей ВМ можно объяснить естественным разнообразием материнских ВМ, которые могут иметь крону разной плотности, различные длину побегов

и уровень апикального доминирования [2, 31]. У ВМ отмечены сильные корреляции между длиной хвои, высотой и шириной кроны, длиной терминального побега и уровнем апикального доминирования, в частности, у ВМ с небольшой длиной терминального побега и низким апикальным доминированием формировалась более короткая хвоя [2]. В работах по сравнению анатомо-морфологических характеристик хвои ВМ и НК у пихты сибирской [13], сосны обыкновенной [14], ели сибирской [10] и сосны кедровой сибирской [12] было показано, что не только сама мутация влияет на изменение размеров структуры хвои, но и степень выраженности мутации. ВМ могут быть довольно близкими по ростовым признакам к видовой норме и существенно от нее отличаться.

Выводы

Исходный возраст маточника оказал влияние на морфолого-анатомические характеристики хвои. Мутантное семенное потомство и клоны мутантного семенного потомства имели меньшие длину, ширину и толщину хвои, а также меньшие площади ее поперечного сечения, центрального цилиндра, смоляных каналов, мезофилла и сосудисто-волокнистого пучка. Наличие подвоя также оказало влияние на размер и структуру хвои. Хвоя мутантного семенного потомства по всем морфолого-анатомическим признакам была меньше по сравнению с хвоей клонов НК, ВМ и мутантного семенного потомства, привитого на нормальный подвой.

Список литературы

- [1] Ямбуров М.С., Горошкевич С.Н. «Ведьмины метлы» кедр сибирского как спонтанные соматические мутации: встречаемость, свойства и возможности использования в селекционных программах // Хвойные борельной зоны, 2007. Т. XXIV. № 2–3. С. 317–324.
- [2] 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
- [3] 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.
- [4] Fordham A.J. Dwarf conifers from witches'-brooms // *Arnoldia*, 1967, v. 24, pp. 29–50.
- [5] Duffield J., Wheat J. Dwarf seedlings from broomed Douglas-fir // *Silvae Genet*, 1963, v. 12, pp. 129–133.
- [6] Waxman S. Witches' brooms sources of new and dwarf forms of *Picea*, *Pinus* and *Tsuga* species // *Acta Horticulturae Symposium on propagation in Arboriculture*, 1975, v. 54, pp. 25–32.
- [7] Кондратов Е.В., Торчик В.И. Морфологические особенности спонтанных соматических мутаций некоторых представителей рода *Abies* Hill. // *Вестні Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя біялагічных навук*, 2016. № 1. С. 28–31.
- [8] Ямбуров М.С. Структура мужских побегов и качество пыльцы «ведьминой метлы» сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) // *Вестник Томского государственного университета. Биология*, 2008. № 3. С. 42–47.
- [9] Yamburov M.S., Goroshkevich S.N. Witches' brooms in siberian stone pine as somatic mutations and initial genetic material for breeding of nut-bearing and ornamental cultivars // *Annals of Forest Research*, 2008, v. 51, pp. 165–166.
- [10] Понкратьева С.В. Некоторые аспекты изучения «ведьминых метел» мутационного типа в Сибири // *Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии* : сб. науч. ст. по материалам Пятнадцатой междунар. науч.-практ. конф. Барнаул, АлтГУ, 23-26 мая 2016 г. Барнаул: Концепт, 2016. С. 199–202.
- [11] Петренко Е.С. «Ведьмины метлы» в ленточных борах Казахстана // *Ботанический журнал*, 1960. Т. 45. № 10. С. 1540–1542.
- [12] 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
- [13] Yamburov M.S., Titova K.G. Needle Anatomy of Mutational Witches' Brooms of Siberian Fir // *World Applied Sciences Journal*, 2013, v. 28, no 7, pp. 909–913.
- [14] Коняхина Е.М., Ямбуров М.С., Груздева С.В. Анатомия хвои «ведьминых метел» мутационного типа у сосны обыкновенной // *Материалы V Междунар. науч. конф., посвященной 130-летию Гербария им. П.Н. Крылова и 135-летию Сибирского ботанического сада Томского государственного университета, Томск, 20–22 октября 2015 г.* Томск: Издательский дом Томского государственного университета, 2015. С. 245–248.
- [15] Richardson A.D., Berlyn G.P., Ashton P.M.S., Thadani R., Cameron I.R. Foliar plasticity of hybrid spruce in relation to crown position and stand age // *Canadian J. Botany*, 2000, v. 78, pp. 305–317. DOI:10.1139/cjb-78-3-305
- [16] Apple M., Tiekotter K., Snow M., Young J., Soeldner A., Phillipis D., Tingey D., Bond B.J. Needle anatomy changes with increasing tree age in Douglas-fir // *Tree Physiology*, 2002, v. 22, pp. 129–136. DOI:10.1093/treephys/22.2-3.129
- [17] Ямбуров М.С. «Ведьмины метлы» мутационного типа у некоторых видов семейства *Pinaceae*: дис. ... канд. биол. наук. Томск, 2010. 133 с.
- [18] England J.R., Attiwill P.M. Changes in leaf morphology and anatomy with tree age and height in the broad-leaved evergreen species, *Eucalyptus regnans* F. Muell // *Trees*, 2006, v. 20, pp. 79–90. DOI:10.1007/s00468-005-0015-5
- [19] Boratyńska K., Jasińska A.K., Ciepluch E. Effect of tree age on needle morphology and anatomy of *Pinus uliginosa* and *Pinus sylvestris* — species-specific character separation during ontogenesis // *Flora — Morphology Distribution Functional Ecology of Plants*, 2008, v. 203, pp. 617–626. DOI:10.1016/j.flora.2007.10.004
- [20] Бендер О.Г. Морфо-анатомические и ультраструктурные характеристики хвои сосны сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour) в Горном Алтае: дис. ... канд. биол. наук. Томск, 2003. 122 с.
- [21] Monteuiis O. La multiplication végétative du séquoia géant en vue du clonage // *Annales AFOCEL*, 1984, pp. 139–171.
- [22] Misson J.P. Multiplication du *Thuja plicata* par culture in vitro de tissus juvéniles et âgé // *Canadian Journal of Forest Research*, 1988, v. 18, pp. 473–477. DOI:10.1139/x88-069
- [23] Huang L.C., Lius S., Huang B.L., Murashige T., Mahdi el F.M., Van Gundy R. Rejuvenation of *Sequoia sempervirens* by repeated grafting of shoot tips onto juvenile rootstocks in vitro // *Plant physiology*, 1992, v. 98, pp. 166–173. DOI:10.1104/pp.98.1.166

- [24] Giovannelli A., Giannini R. Reinvigoration of mature chestnut (*Castanea sativa*) by repeated graftings and micro-propagation // *Tree Physiology*, 2000, v. 20, pp. 1243–1248. DOI:10.1093/treephys/20.18.1243
- [25] Хиров А.А. О ведьминой метле на сосне // *Ботанический журнал*, 1973. Т. 58. Вып. 3. С. 433–436.
- [26] Авров Ф.Д. Вступление в репродуктивную фазу привоев лиственниц в условиях Средней Сибири // «Половая репродукция хвойных»: матер. I Всесоюз. симп., Новосибирск, 16–20 апреля 1973 г. Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1973. С. 151–153.
- [27] Jayawickrama K.J.S., Jett J.B., Mckeandz S.E. Rootstock effects in grafted conifers: A review // *New Forests*, 1991, v. 5, pp. 157–173.
- [28] Hosomi A., Dan M., Kato A. Screening of fig varieties for rootstocks resistant to soil sickness // *J. of the Japanese Society for Horticultural Science*, 2002, v. 71, iss. 2, pp. 171–176. DOI:10.2503/jjshs.71.171
- [29] Allen R.M. Influence of the Root System on Height Growth of Three Southern Pines // *Forest Science*, 1967, v. 13, iss. 3, pp. 253–257. DOI:10.1093/forests/13.3.253
- [30] 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:10.1007/s11056-018-09700-x
- [31] 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

Сведения об авторе

Полякова Ольга Игоревна — аспирант НИ ТГУ, старший преподаватель кафедры лесного хозяйства и ландшафтного строительства НИ ТГУ, инженер I кат., ИМКЭС СО РАН, polyakova_olga93@mail.ru

Поступила в редакцию 02.05.2020.

Принята к публикации 22.06.2020.

MORPHOLOGICAL AND ANATOMICAL CHARACTERISTICS OF NEEDLES IN SEEDLINGS AND VEGETATIVE PROGENY OF DIFFERENT AGES FROM MUTATIONAL WITCHES' BROOMS OF *PINUS SIBIRICA* DU TOUR

O.I. Polyakova^{1,2}

¹Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 10/3, Academicheskoy av., 634055, Tomsk, Russia

²Tomsk State University, 36, Lenina av., 634050, Tomsk, Russia

polyakova_olga93@mail.ru

The study was carried out using three objects: 1) clones of the mutational witches' brooms and the normal crown grafted together on the same rootstock; 2) mutant seedlings of the witches' brooms; 3) clones of the witches' brooms mutant seedlings. It was shown that the morphological and anatomical needle characteristics are affected as by the presence and the expression of the mutation, as well as the age of the maternal tree and the presence of a rootstock. Each factor and the interaction of some factors makes a significant contribution to the differences between the groups in the main needle characteristics. The mutant seedlings and their clones formed the shortest needles; they also had smaller areas of the central cylinder, resin ducts, mesophyll and vascular cylinder. Morphological and anatomical needle traits varied between the families, the needle length was a rather conservative trait in the families. Some differences between the groups from different families of witches' brooms were due to the natural diversity of the maternal witches' brooms.

Keywords: witches' broom, needles, seedlings, clones, morphological and anatomical features

Suggested citation: Polyakova O.I. *Morfologo-anatomicheskie osobennosti khvoi u semennogo i raznovozrastnogo vegetativnogo potomstva mutatsionnykh «ved'minykh metel» Pinus sibirica Du Tour* [Morphological and anatomical characteristics of needles in seedlings and vegetative progeny of different ages from mutational witches' brooms of *Pinus sibirica* Du Tour]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 6, pp. 51–57. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-6-51-57

References

- [1] 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]. *Khvoynyye boreal'noy zony* [Conifers of the Boreal Area], 2007, v. 24, no. 2–3, pp. 317–324.
- [2] 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
- [3] 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.
- [4] Fordham A.J. Dwarf conifers from witches' brooms. *Arnoldia*, 1967, v. 24, pp. 29–50.
- [5] Duffield J., Wheat J. Dwarf seedlings from broomed douglas-fir. *Silvae Genet*, 1963, v. 12, pp. 129–133.

- [6] Waxman S. Witches' brooms sources of new and dwarf forms of *Picea*, *Pinus* and *Tsuga* species. Acta Horticulturae Symposium on propagation in Arboriculture, 1975, v. 54, pp. 25–32.
- [7] Kondratov E.V., Torchik V.I. *Morfologicheskie osobennosti spontannykh somaticheskikh mutatsiy nekotorykh predstaviteley roda Abies Hill.* [Morphological features of spontaneous somatic mutations of some representatives of the genus *Abies* Hill.] Izvestiya Natsional'noy akademii nauk Belarusi. Seriya biologicheskikh nauk [News of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological Science Series], 2016. no 1, pp. 28–31.
- [8] Yamburov M.S. *Struktura muzhskikh pobegov i kachestvo pyl'tsy «ved'minoy metly» sosny obyknovennoy (Pinus sylvestris L.)* [The structure of male shoots and the pollen quality the «witches' broom» of scotch pine (*Pinus sylvestris* L.)]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya [Tomsk State University Journal of Biology], 2008, no. 3, pp. 42–47.
- [9] Yamburov M.S., Goroshkevich S.N. Witches' brooms in siberian stone pine as somatic mutations and initial genetic material for breeding of nut-bearing and ornamental cultivars. Annals of Forest Research, 2008, v. 51, pp. 165–166.
- [10] Ponkratieva S.V. *Nekotorye aspekty izucheniya «ved'minykh metel» mutatsionnogo tipa v Sibiri* [Some aspects of the study mutational type of «witches' brooms» in Siberia]. Problemy botaniki Yuzhnoy Sibiri i Mongolii: sb. nauch. st. po materialam Pyatnadsatoy mezhdunar. nauch.-prakt. konf., Barnaul, AltGU, 23–26 maya 2016 g. [Problems of Botany of South Siberia and Mongolia: Proceedings of the 15th International Scientific and Practical Conference, Barnaul, 23 to 26 May 2016]. Barnaul: Concept, 2016, pp. 199–202.
- [11] Petrenko E.S. «Ved'miny metly» v lentochnykh borakh Kazakhstana [«Witches' brooms» in tape pine forests of Kazakhstan]. Botanicheskii Zhurnal [Botanical Journal], 1960, v. 45, no 10, pp. 1540–1542.
- [12] 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
- [13] Yamburov M.S., Titova K.G. Needle Anatomy of Mutational Witches' Brooms of Siberian Fir. World Applied Sciences J., 2013, v. 28, no 7, pp. 909–913.
- [14] Konyakhina E.M., Yamburov M.S., Gruzdeva S.V. *Anatomiya khvoi «ved'minykh metel» mutatsionnogo tipa u sosny obyknovennoy* [The anatomy needles of the «witches' brooms» of the mutational type in Scotch Pine]. Materialy V Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii, posvyashchennoy 130-letiyu Gerbariya im. P.N. Krylova i 135-letiyu Sibirskogo botanicheskogo sada Tomskogo gosudarstvennogo universiteta, Tomsk, 20–22 oktyabrya 2015 g. [Proceedings of the 5th International Scientific Conference dedicated to 130th anniversary P.N. Krylov Herbarium and the 135th anniversary of the Siberian Botanical Garden of Tomsk State University, Tomsk, 20 to 22 October, 2015] Tomsk: Tomsk State University Publishing House, 2015, pp. 245–248.
- [15] Richardson A.D., Berlyn G.P., Ashton P.M.S., Thadani R., Cameron I.R. Foliar plasticity of hybrid spruce in relation to crown position and stand age. Canadian J. of Botany, 2000, v. 78, pp. 305–317. DOI:10.1139/cjb-78-3-305
- [16] Apple M., Tiekotter K., Snow M., Young J., Soeldner A., Phillipis D., Tingey D., Bond B.J. Needle anatomy changes with increasing tree age in Douglas-fir. Tree Physiology, 2002, v. 22, pp. 129–136. DOI:10.1093/treephys/22.2-3.129
- [17] Yamburov M.S. «Ved'miny metly» mutacionnogo tipa u nekotorykh vidov semeystva Pinaceae [Mutational witches' brooms in some Pinaceae species]. Dis. ... Cand. Sci. (Biol.). Tomsk, 2010, 133 p.
- [18] England J.R., Attiwill P.M. Changes in leaf morphology and anatomy with tree age and height in the broad-leaved evergreen species, *Eucalyptus regnans* F. Muell. Trees, 2006, v. 20, pp. 79–90. DOI:10.1007/s00468-005-0015-5
- [19] Boratyńska K., Jasińska A.K., Ciepluch E. Effect of tree age on needle morphology and anatomy of *Pinus uliginosa* and *Pinus sylvestris* — species-specific character separation during ontogenesis. Flora — Morphology Distribution Functional Ecology of Plants, 2008, v. 203, pp. 617–626. DOI:10.1016/j.flora.2007.10.004
- [20] Bender O.G. *Morfo-anatomicheskie i ul'trastrukturnye kharakteristiki khvoi sosny sibirskoy (Pinus sibirica Du Tour) v Gornom Altae* [Morpho-anatomical and ultrastructural characteristics needles of Siberian stone pine (*Pinus sibirica* Du Tour) in Altai Mountains]. Dis. ... Cand. Sci. (Biol.). Tomsk, 2003. 122 p.
- [21] Monteuiis O. La multiplication végétative du séquoia géant en vue du clonage. Annales AFOCEL, 1984, pp. 139–171.
- [22] Misson J.P. Multiplication du Thuja plicata par culture in vitro de tissus juvéniles et âgé. Canadian J. of Forest Research, 1988, v. 18, pp. 473–477. DOI:10.1139/x88-069
- [23] Huang L.C., Lius S., Huang B.L., Murashige T., Mahdi el F.M., Van Gundy R. Rejuvenation of Sequoia sempervirens by repeated grafting of shoot tips onto juvenile rootstocks in vitro. Plant physiology, 1992, v. 98, pp. 166–173. DOI:10.1104/pp.98.1.166
- [24] Giovannelli A., Giannini R. Reinvigoration of mature chestnut (*Castanea sativa*) by repeated graftings and micropropagation. Tree Physiology, 2000, v. 20, pp. 1243–1248. DOI:10.1093/treephys/20.18.1243
- [25] 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.
- [26] Avrov F.D. *Vstuplenie v reproduktivnyuyu fazu privoev listvennits v usloviyakh Sredney Sibiri* [Entering the reproductive phase of larch scions in Central Siberia]. Polovaya reproduktivnaya khvoynykh: mat-ly I Vsesoyuz. simp. [Sexual reproduction of conifers: Proceedings I All-Union. Symposium]. Novosibirsk, April 16 to 20, 1973 Novosibirsk: Science. Siberian branch, 1973, pp. 151–153.
- [27] Jayawickrama K.J.S., Jett J.B., Mckeandz S.E. Rootstock effects in grafted conifers: A review. New Forests, 1991, v. 5, pp. 157–173.
- [28] Hosomi A., Dan M., Kato A. Screening of fig varieties for rootstocks resistant to soil sickness. J. of the Japanese Society for Horticultural Science, 2002, v. 71, iss. 2, pp. 171–176. DOI:10.2503/jjshs.71.171
- [29] Allen R.M. Influence of the Root System on Height Growth of Three Southern Pines. Forest Science, 1967, v. 13, iss. 3, pp. 253–257. DOI:10.1093/forestscience/13.3.253
- [30] 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 DOI:10.1007/s11056-018-09700-x
- [31] 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

Author's information

Polyakova Olga Igorevna — Pg. NR TSU, Senior lecturer at the Department of Forestry and Landscape architecture, Engineer I category in the IMCES SB RAS, polyakova_olga93@mail.ru

Received 02.05.2020.

Accepted for publication 22.06.2020.

УДК 631.525.635

DOI: 10.18698/2542-1468-2020-6-58-64

ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВНОСТИ ИНТРОДУКЦИИ КАШТАНА КОНСКОГО ОБЫКНОВЕННОГО (*AESCULUS HIPPOCASTANUM* L.) В УСЛОВИЯХ Г. ВОЛОГДЫ

Е.Б. Карбасникова

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

helen15@yandex.ru

Выполнена комплексная оценка роста и развития каштана конского обыкновенного (*Aesculus hippocastanum* L.) в условиях северного города. В ходе исследований изучено сезонное развитие, морозоустойчивость и зимостойкость, декоративность и его репродуктивная способность. Проведена оценка перспективности дальнейшей интродукции вида на Европейский Север. В результате выполненной работы, установлено, что каштан конский обыкновенный проходит полный цикл сезонного развития в условиях г. Вологды. Начало вегетации наблюдается в первой декаде мая. В третьей декаде мая — первой декаде июня наблюдается его обильное ежегодное цветение. У деревьев отмечено умеренное обмерзание (не более 30 % длины однолетних побегов), причиной которого является позднее окончание вегетации. Каштан конский обыкновенный дает полноценные семена высокого качества, которые созревают к октябрю. Лабораторная всхожесть составляет 64 %, при этом грунтовая всхожесть выше — 92 %. Степень декоративности изучаемого вида высокая, особенно в период цветения. Цветы образуют крупные соцветия, которые стоят на ветках вертикально вверх и источают приятный аромат. Плоды также имеют привлекательный вид. Общее жизненное состояние оценивается как здоровое у 73 % деревьев. Отмечены поражения минирующей молью (*Cameraria ohridella*), которые на данный момент не оказывают существенного влияния на рост деревьев, но требуют соответствующих мер борьбы. По комплексу показателей перспективность каштана конского обыкновенного оценена в 78 баллов, что характеризует его как перспективный вид.

Ключевые слова: интродукция, перспективность, сезонное развитие, репродуктивная способность, зимостойкость, декоративность

Ссылка для цитирования: Карбасникова Е.Б. Оценка перспективности интродукции каштана конского обыкновенного (*Aesculus hippocastanum* L.) в условиях г. Вологды // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 6. С. 58–64. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-6-58-64

Увеличение численности городов современной России предъявляет новые требования к организации зеленых насаждений. Наполнение урболандшафтов озелененными территориями является эффективным средством улучшения качества жизни горожан. Растительность смягчает микроклимат, способствует снижению загрязнения и увеличивает декоративный облик городов. Большое значение имеет рационально подобранный ассортимент дендрофлоры, используемый в посадках [1], а также виды, способные выдерживать высокую техногенную нагрузку и при этом сохранять свои декоративные качества [2].

Наиболее остро проблема низкого разнообразия арборифлоры стоит в северных городах, где видовой состав древесно-кустарниковой растительности весьма ограничен. Автохтонные виды в них, как правило, представлены хвойными породами (сосна, ель), которые, плохо переносят антропогенное загрязнение, а также недолговечными лиственными (береза, осина, ольха). Особенно мало среди аборигенных растений красивоцветущих деревьев.

В озеленении северных городов особое место занимают интродуценты, которые имеют экзо-

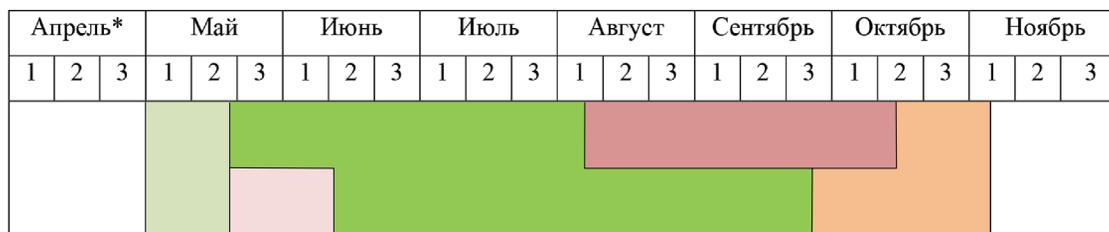
тичный внешний вид и, как правило, обладают высокой устойчивостью к антропогенной среде. Одной из таких пород является каштан конский обыкновенный (*Aesculus hippocastanum* L.). По мнению ряда авторов [3–5], в настоящее время он является самым известным и популярным видом в городском озеленении. Отсутствие углубленных исследований роста и развития в городских условиях Европейского Севера каштана конского обыкновенного, ограничивает его использование. Изучение перспективности интродукции этого вида определено как актуальное.

Цель работы

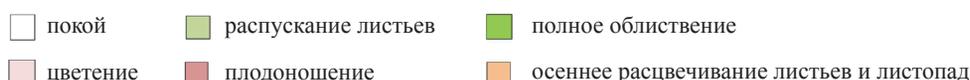
Цель работы — проведение комплексной оценки перспективности интродукции каштана конского обыкновенного (*Aesculus hippocastanum* L.) в городских условиях Европейского Севера.

Материалы и методы

В качестве методической базы были использованы рекомендации В.Ф. Ковязина, Т.Л. Нгуен, Ч.Х. Фана [6]. Фенологические наблюдения проводились согласно основным положениям методических разработок И.Н. Елагина,



*Месяцы разделены на 1, 2, 3 декады



Фенологический спектр каштана конского обыкновенного
Phenological spectrum of common horse chestnut

Н.Е. Булыгина, П.М. Малаховца, В.А. Тисовой [7–9]. Зимостойкость и морозоустойчивость определялись по методике Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина Российской академии наук (ГБС РАН). Степень декоративности оценивалась по методике, предложенной Н.А. Бабичем, О.С. Залывской, Г.И. Травниковой [10]. Для комплексной оценки успешности интродукции использовалась шкала интегральной оценки перспективности интродукции ГБС РАН с изменениями [11]. В качестве объектов исследования выступили зеленые насаждения г. Вологды, в которых имеется каштан конский обыкновенный.

Результаты и обсуждение

Родина конского каштана обыкновенного — Балканский полуостров (горные леса Греции, Албании, Македонии). В Центральной и Западной Европе это растение культивируют с конца XVI в., когда его семена были завезены из Константинополя. Постепенно этот вид приобрел популярность и в настоящее время украшает города Европы, Азии, Северной Америки, России [12, 13]. Монументально красивое дерево отличается своей теневыносливостью и ветроустойчивостью. Вид хорошо переносит условия городской среды и обладает высокой способностью накапливать сернистые соединения и свинец, долго сохраняет декоративность, долговечен [14].

В г. Вологде каштан конский обыкновенный наиболее представлен в насаждениях на бульваре по ул. Первомайской, единично растет в скверах на Площади Революции, Площади Дрыгина и Театральной. Средний возраст растений составляет 50...60 лет. Основным лимитирующим фактором его распространения на Европейский Север является низкая температура воздуха в зимний период. Для произрастания данного вида более благоприятны районы с мягкой зимой при средней температуре января минус 12 °С. Для г. Вологды средняя температура января состав-

ляет минус 17 °С. Это основная причина того, что каштан конский нередко меняет жизненную форму дерева на более устойчивую форму кустарника. Он встречается как в виде дерева (бульвар на ул. Первомайской, Театральный сквер), так и в виде кустарника (Площадь Революции, Площадь Дрыгина).

Фенологическое развитие основано на взаимодействии наследственных свойств растения и внешней среды, поэтому важным этапом изучения перспективности выращивания каштана конского обыкновенного в условиях северного города является установление сроков прохождения фаз сезонного развития. Наблюдения проводились в течение длительного периода 2008–2019 гг. За начало вегетации принимали дату набухания почек (чешуи разошлись, показались светлые пятна), а за окончание вегетации — дату массового листопада (опало более 50 % общего количества листьев). По результатам наблюдений был подготовлен фенологический спектр, представленный на рисунке.

Набухание почек и распускание листьев у каштана конского приходится на начало мая и зависит от климатических условий в этот период. При ранней и теплой весне набухание почек можно наблюдать уже в последних числах апреля. От момента распускания почек до появления первых листьев проходит 7...10 дней. В конце второй декады мая наблюдается цветение каштана. Наступление данной фазы зависит от количества накопленного тепла и происходит при сумме положительных температур $478,9 \pm 62,1$ °С. Цветение ежегодное, продолжительное, может длиться до трех недель. Обильность цветения оценивается в 5 баллов. Первые плоды появляются уже в августе, но период их созревания очень продолжительный (более месяца). После созревания (в начале октября) плоды начинают опадать. При наступлении устойчивых низких температур листья приобретают желто-зеленый цвет. Листо-

пад начинается в конце октября и заканчивается в ноябре. В некоторые годы (2015 г., 2017 г.) частично листва оставалась на зиму. Вегетационный период в Вологде составляет 130 дней, а оптимальная его продолжительность для каштана конского — 186 дней [6], тем не менее побеги одревесневают (исключения бывают лишь в годы с ранним наступлением морозов), плодоношение обильное и семена вызревают.

Важными показателями при оценке успешности интродукции вида на север являются их устойчивость к неблагоприятным факторам зимы. Морозостойкость растений обуславливают их физиологические особенности, в частности, лигнификация клеточных оболочек древесины — чем раньше приостанавливается камбиальная деятельность и на срезах обнаруживается резкая разница между камбием и древесиной, тем выше устойчивость растения к отрицательным температурам [15]. В то же время зимостойкость древесных растений зависит от многих причин и может сдвигаться в ту или иную сторону. На зимовку каштана неблагоприятно влияют обильные дожди в конце лета, после прекращения роста побегов, глубина снежного покрова, зимние оттепели и другие факторы [16].

По результатам многолетних наблюдений, отмечено, что на территории г. Вологды каштан конский умеренно обмерзает (не более 30 % длины однолетних побегов). Обмерзание наблюдается, главным образом, вследствие того, что растение поздно заканчивает вегетацию, и при наступлении отрицательных температур не успевают полностью одревеснеть однолетние побеги. Особенно высокий процент обмерзания наблюдается у деревьев, растущих на открытых местах.

При изучении адаптации древесных растений и кустарников к новым условиям произрастания важно проводить исследования их репродуктивной способности. Известно, что основным показателем устойчивости вида является способность давать семенное потомство. Образование полноценных семян имеет особое значение для последующей акклиматизации растений, поскольку при этом создаются возможности отбора более стойких особей в семенном потомстве интродуцентов [17]. Кроме того, виды, дающие семена, могут служить источником посевного материала для питомников. Практика показывает, что широкое внедрение интродуцентов в культуру во многом сдерживается отсутствием достаточного количества полноценных семян, репродуцируемых интродуцентами. Это связано с тем, что интродуценты в новых для них природных условиях оказываются под влиянием комплекса экстремальных стрессовых экологических факторов среды, значительно отражающихся

на репродуктивном развитии древесных растений. Хотя урбанизированная среда в существенно влияет на рост, развитие, а, следовательно, и на качество семян, тем не менее, нельзя исключать возможность их использования для получения необходимого количества и широкого ассортимента посадочного материала в декоративных питомниках.

В результате изучения семенного материала особей каштана конского в г. Вологде, установлено, что семена имеют длину $31,4 \pm 0,9$ мм, толщину $19 \pm 0,9$ мм и ширину $29,4 \pm 0,9$ мм. Масса 1000 шт. семян составляет $10881,7 \pm 364,3$ г. По данным Н.В. Кречетовой [18], в целом по ареалу для данного вида этот показатель находится в пределах 1000...500 г. Лабораторная всхожесть семян достаточно высокая — 64 %, при этом грунтовая всхожесть выше — 92 %. Такие семена можно использовать для получения посадочного материала в местных питомниках. Надо отметить, что плодоносят и дают полноценное потомство как растения в группах, так и одиночные экземпляры деревьев.

Т а б л и ц а 1

Степень декоративности каштана конского обыкновенного в г. Вологде

The decorativeness degree of the horse chestnut in Vologda

Показатель декоративности	Балл	Краткая характеристика
Архитектоника кроны	4	Четко выраженная форма кроны с оригинальным строением
Длительность цветения	4	Средняя (2 недели — 1 месяц)
Степень цветения	5	Обильное, цветы имеются на всех деревьях
Окраска, величина цветков	5	Соцветия крупные (более 10 см), цветы имеют белую окраску, декоративность сохраняется даже после окончания цветения
Привлекательность внешнего вида плодов	5	Плоды оригинальные с шипиками, крупные, имеют овальную форму
Аромат цветков, плодов, листьев	4	Цветы имеют приятный цветочный аромат
Осенняя окраска	4	Осенью листья имеют желто-зеленую окраску листвы
Продолжительность облиствения	4	Листья распускаются рано и поздно опадают
Повреждаемость	5	Повреждения практически отсутствуют
Зимостойкость	4	Обмерзает умеренно
Итого	40	Степень декоративности высокая

Важным свойством каштана конского обыкновенного является его высокая декоративность. Нами была определена степень его декоративности в насаждениях г. Вологды (табл. 1).

Степень декоративности каштана конского обыкновенного высокая. При оценке по 10 показателям, наивысший балл ему присвоен по восьми из них. Дерево отличается четко выраженной архитектоникой кроны и ее оригинальным строением. Особенно привлекателен вид в период цветения, продолжающегося около месяца. Цветы образуют крупные соцветия, которые располагаются на ветках вертикально вверх и источают приятный аромат. Плоды также имеют привлекательный и несколько необычный вид для районов Европейского Севера.

Для сравнения оценка декоративности была проведена и для других древесных пород в насаждении [16]. В результате чего установлено, что среди лиственных деревьев каштан конский превосходит остальные породы по привлекательности цветков и плодов и устойчивости к повреждениям.

Общее жизненное состояние каштана конского обыкновенного оценивается как здоровое (без признаков ослабления) у 73 % деревьев. Реже встречаются ослабленные (24 %) и сильно ослабленные (3 %). Среди основных причин ослабления состояния определено поражение листьев минирующей молью (*Cameraria ohridella*), в результате которого образуются некротические пятна на листьях. Со временем у пораженных деревьев появляются сухие ветви и снижается зимостойкость, поскольку ассимиляционный аппарат не может обеспечить дерево питательными веществами в необходимом количестве. Данный вредитель наносит огромный вред посадкам каштана конского обыкновенного [19]. В некоторых странах Европы минирующая моль поражает посадки настолько сильно, что стоит вопрос о дальнейшем культивировании каштана конского обыкновенного [20, 21]. В условиях г. Вологды, в настоящее время проблема не является столь острой, несмотря на то, что на листьях некоторых деревьев наблюдаются коричневые пятна, значительного отрицательного воздействия на данный момент не наблюдается. Тем не менее, появление данного вредителя требует применения мер по борьбе с ним.

В результате комплексной оценки каштана конского обыкновенного в условиях г. Вологды была определена перспективность его дальнейшего использования (табл. 2).

Анализ перспективности каштана конского обыкновенного в условиях г. Вологды по семи критериям показал, что вид перспективен для дальнейшего культивирования. Он дает ежегод-

Т а б л и ц а 2

Интегральная оценка перспективности интродукции

Integral assessment of introduction prospects

Показатель перспективности	Балл	Краткая характеристика
Степень вызревания побегов	15	К началу морозов одревесневает более 75 % однолетних побегов, в некоторые зимы листья на деревьях сохраняются
Зимостойкость	20	Обмерзает умеренно (30 % однолетних побегов)
Сохранение габитуса	5	Встречаются экземпляры как с древесной, так и с кустарниковой жизненной формой
Побегообразовательная способность	3	Средняя побегообразовательная способность, поросль отсутствует
Прирост в высоту	5	Прирост в высоту ежегодный
Способность к генеративному развитию	25	Семена созревают
Способы размножения в культуре	5	Посев семян дает хорошие результаты
Итого	78	Перспективный вид

ный прирост в высоту иногда до 30...40 см в год, что характеризует его как быстрорастущий вид, проходит все фазы сезонного развития и дает полноценные семена хорошего качества. В зимний период наблюдается обмерзание побегов, не превышающее 30 % длины однолетних побегов. По комплексу показателей перспективность каштана конского обыкновенного оценена в 78 баллов.

Выводы

Каштан конский обыкновенный в урбанизированных условиях города Вологды проходит полный цикл развития. Начало вегетации наблюдается в первой декаде мая. Начиная с третьей декады мая по первую декаду июня наблюдается его обильное ежегодное цветение. До наступления холодов побеги, как правило, одревесневают. Все это свидетельствует о том, что изучаемый вид имеет хорошую приспособленность к новым условиям произрастания.

Высокая декоративность (40 баллов), учитывающая 10 критериев, позволяет рекомендовать каштан конский обыкновенный для создания декоративных групповых посадок внутри насаждений, а также куртин внутри парков. Преобладание здоровых деревьев также благоприятно отражается на внешнем облике деревьев. Но необходимо проведение мероприятий по борьбе с минирующей молью.

Каштан конский дает полноценные высококачественные семена, которые позволяют получить

семенную репродукцию более приспособленных особей в последующих поколениях. Эти особи должны стать устойчивее к неблагоприятным климатическим факторам и к урбанизированной среде. Высокое качество семян позволяет рекомендовать данный вид к выращиванию в местных питомниках. При интродукции видов этот показатель имеет решающее значение.

По сумме показателей интегральной оценки каштан конский обыкновенный оценен как перспективный для интродукции вид, а город Вологда может стать промежуточной станцией при ступенчатой интродукции вида на Европейский Север.

Список литературы

- [1] Залывская О.С. Дендринтродуценты в городах Архангельской агломерации // 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. Москва; Казань: ООО ИПЦ Маска, 2017. С. 130–132.
- [2] Карбасникова Е.Б., Залывская О.С., Чухина О.В. Содержание тяжелых металлов в почве и древесной растительности в условиях городской агломерации // Изв. вузов Лесной журнал, 2019. № 5. С. 216 – 223.
- [3] Анциферов А.В., Мингажева А.М., Чурагулова З.С., Волочкова О.С., Юмагузина Л.Р. Об устойчивости интродуцента каштана конского обыкновенного (*Aesculus hippocastanum* L.) к экологическим условиям северной лесостепи Республики Башкортостан // Вестник академии наук РБ, 2013. Т. 18. № 3. С. 50–56
- [4] Хоменок М.А. Методические подходы к разработке шкалы признаков декоративности *Aesculus hippocastanum* L. // Успехи современной науки и образования, 2016. Т. 2. № 7. С. 126–127.
- [5] Hrubik P. Alien insect pests on introduced woody plants Slovakia // Acta entomologica serbica, 2007, no. 12 (1), pp. 81–85.
- [6] Ковязин В.Ф., Нгуен Т.Л., Фан Ч.Х. К методике исследования городских насаждений // Изв. вузов Лесной журнал, 2015. № 6. С. 57–65.
- [7] Елагин И.Н. Применение методов фенологии при изучении динамики роста и развития растений // Лесоведение, 1970. № 1. С. 91–92.
- [8] Булыгин Н.Е. Фенологические наблюдения над древесными растениями. Л.: ЛТА, 1979. 96 с.
- [9] Малаховец П.М., Тисова В.А. Фенологические наблюдения за сезонным развитием деревьев и кустарников. Архангельск: АГТУ, 1999. 47 с.
- [10] Бабич Н.А., Залывская О.С., Травникова Г.И. Интродуценты в зеленом строительстве северных городов. Архангельск: АГТУ, 2008. 143 с.
- [11] Залесов С.В., Платонов Е.П., Залесова Е.С., Оплетав А.С., Данчева А.В., Крекова Я.А. Изучение перспективности древесных интродуцентов: методические указания. Екатеринбург, 2014. 13 с.
- [12] Анциферов А.В. Декоративный потенциал рода *Aesculus* L. // Субтропическое и декоративное садоводство. Сочи: Всерос. науч.-исслед. ин-т цветоводства и субтропических культур, 2012. С. 118–125.
- [13] Merzlyak M.N., Pavlov V.K., Zhigalova T.V. Effect of desiccation on chlorophyll high temperature chemiluminescence in *Acer plantoides* L. and *Aesculus hippocastanum* L. leaves // J. Plant Physiology, 1992, t. 139, pp. 629–631.
- [14] Vossen P. Chestnut culture inside California // Regents of the University of California, 2000, 18 p.
- [15] Барская Е.И. Изменение хлоропластов и вызревание побегов в связи с морозоустойчивостью древесных растений. М.: Наука, 1967. 223 с.
- [16] 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.
- [17] Васильев С.В., Чепик Ф.А. Семенное размножение древесных растений в городе: ключевые факторы, проблемы и пути их решения // 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 года. М.: МГУЛ, 2015. С. 122–125.
- [18] Кречетова Н.В., Крестова О.Ф., Любич Е.С., Новосельцева А.И. Справочник по лесосеменному делу. М.: Лесная пром-сть, 1978. 336 с.
- [19] Ревяко И.И., Манченко В.С., Ревяко В.И. Декоративность *Aesculus hippocastanum* в условиях урбандшафта «Новочеркасск» // Изв. вузов Лесной журнал, 2019. № 1. С. 52–62.
- [20] Голосова М.А., Гниненко Ю.И. Появление орхидско-го минера на каштане коском в Москве // Вестник МГУЛ – Лесной Вестник, 2006. Т. 2. С. 43–45.
- [21] Snieškienė V., Baležentienė L., Stankevičienė A. State of horse-chestnut, *Aesculus hippocastanum* L., in Lithuania: diseases and pest damages // Ekologija, 2011, t. 57, no. 2, pp. 62–69.

Сведения об авторе

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

Поступила в редакцию 02.05.2020.

Принята к публикации 10.08.2020.

PROSPECTS OF COMMON HORSE CHESTNUT (*AESCULUS HIPPOCASTANUM* L.) INTRODUCTION IN VOLOGDA

E.B. Karbasnikova

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

helen15@yandex.ru

The increase in the number of cities of modern Russia makes new demands to the organization of green spaces. Important species able to withstand high anthropogenic load while maintaining its decorative qualities. In the landscaping of the Northern cities occupy a special place plants, which are exotic in appearance and usually have a high resistance to the built environment. One such species is the *Aesculus hippocastanum* L. In a comprehensive assessment of this species in urban conditions of the city of Vologda were made assessment of the prospects for further introduction it in the European North. The *Aesculus hippocastanum* L. is a full cycle of seasonal development. Beginning of the vegetation observed in the first decade of may. In the third decade of may — first decade of June it is observed abundant flowering annual. In the city of Vologda, *Aesculus hippocastanum* L. is a moderately frosted over (not more than 30 % of the length of annual shoots). Mostly, the frosting is due to the fact that the plant finishes late in the growing season and at the onset of negative temperatures do not have time to travelnet shoots. The species produces viable seeds of high quality. Laboratory seed germination is 64 %, while above ground the germination — 92 %. This allows germination to seed reproduction of better adapted individuals in subsequent generations. The degree of decoration of *Aesculus hippocastanum* L. high. The flowers form large racemes, which stand on the branches vertically upwards and exude a pleasant aroma. The fruit also have an attractive look. The vital condition is assessed as healthy in 73 % of the trees. The range of indicators the promise of the *Aesculus hippocastanum* L. is estimated at 78 points, which characterizes it as a kind of perspective.

Keywords: introduction, prospects, seasonal development, reproductive ability, hardiness, decorative

Suggested citation: Karbasnikova E.B. *Otsenka perspektivnosti introduktsii kashтана konskogo obyknovennogo (Aesculus hippocastanum L.) v usloviyakh g. Vologdy* [Prospects of common horse chestnut (*Aesculus hippocastanum* L.) introduction in Vologda]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 6, pp. 58–64.

DOI: 10.18698/2542-1468-2020-6-58-64

References

- [1] Zalyvskaya O.S. *Dendrointroducenty v gorodakh Arkhangel'skoy aglomeratsii* [Dendrointroducers in the cities of the Arkhangelsk agglomeration]. *Lesа Evrazii – Lesа Povolzh'ya: materialy XVII Mezhdunarodnoy konferentsii molodykh uchenykh, posvyashchenny 150-letiyu so dnya rozhdeniya professora G.F. Morozova, 95-letiyu Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta i Godu ekologii v Rossii. Kazan', 22–28 oktyabrya 2017 g. Moskva-Kazan': Maska, 2017, pp. 130–132.*
- [2] Karbasnikova E.B., Zalyvskaya O.S., Chukhina O.V. *Soderzhanie tyazhelykh metallov v pochve i drevesnoy rastitel'nosti v usloviyakh gorodskoy aglomeratsii* [Heavy metal content in soil and woody vegetation in urban agglomeration]. *Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal)*, 2019, no. 5, pp. 216–223.
- [3] Antsiferov A.V., Mingazheva A.M., Churagulova Z.S., Volochkova O.S., Yumaguzina L.R. *Ob ustoychivosti introdutsenta kashтана konskogo obyknovennogo (Aesculus hippocastanum L.) k ekologicheskim usloviyam severnoy lesostepi Respubliki Bashkortostan* [On the stability of the introduced horse chestnut ordinary (*Aesculus hippocastanum* L.) to the environmental conditions of the northern forest-steppe of the Republic of Bashkortostan]. *Vestnik akademii nauk RB*, 2013, t. 18, no. 3, pp. 50–56.
- [4] Khomenok M.A. *Metodicheskie podkhody k razrabotke shkaly priznakov dekorativnosti Aesculus hippocastanum L.* [Methodological approaches to the development of a scale of decorative signs of *Aesculus hippocastanum* L.]. *Uspekhi sovremennoy nauki i obrazovaniya*, 2016, t. 2, no. 7, pp. 126–127.
- [5] Hrubik P. Alien insect pests on introduced woody plants Slovakia. *Acta entomologica serbica*, 2007, no. 12 (1), pp. 81–85.
- [6] Kovyazin V.F., Nguen T.L., Fan Ch.Kh. *K metodike issledovaniya gorodskikh nasazhdeniy* [On the methodology of urban plantings research]. *Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal)*, 2015, no. 6, pp. 57–65.
- [7] Elagin I.N. *Primenenie metodov fenologii pri izuchenii dinamiki rosta i razvitiya rasteniy* [Application of phenology methods in studying the dynamics of plant growth and development]. *Lesovedenie [Russian Journal of Forest Science]*, 1970, no. 1, pp. 91–92.
- [8] Bulygin N.E. *Fenologicheskie nablyudeniya nad drevesnymi rasteniyami* [Phenological observations of woody plants]. Leningrad: LTA, 1979, 96 p.
- [9] Malakhovets P.M., Tisova V.A. *Fenologicheskie nablyudeniya za sezonnym razvitiem derev'ev i kustarnikov* [Phenological observations of the seasonal development of trees and shrubs: a training manual]. Arhangel'sk: AGTU, 1999, 47 p.
- [10] Babich N.A., Zalyvskaya O.S., Travnikova G.I. *Introducenty v zelenom stroitel'stve severnykh gorodov* [Introducers in the green construction of northern cities]. Arhangel'sk: AGTU, 2008, 143 p.
- [11] Zalesov S.V., Platonov E.P., Zalesova E.S., Opletaev A.S., Dancheva A.V., Krekova Ya.A. *Izuchenie perspektivnosti drevesnykh introdutsentov: metodicheskie ukazaniya* [The study of the prospects of wood introductions: guidelines]. Ekaterinburg, 2014, 13 p.
- [12] Antsiferov A.V. *Dekorativnyy potentsial roda Aesculus L.* [Decorative potential of the genus *Aesculus* L. Subtropical and ornamental gardening]. *Subtropicheskoe i dekorativnoe sadovodstvo. Sochi: Vserossiyskiy nauchno-issledovatel'skiy institut tsvetovodstva i subtropicheskikh kul'tur*, 2012, pp. 118–125.
- [13] Merzlyak M.N., Pavlov V.K., Zhigalova T.V. Effect of dessication on chlorophyll high temperature chemiluminescence in *Acer plantoides* L. and *Aesculus hippocastanum* L. leaves. *J. Plant Physiology*, 1992, t. 139, pp. 629–631.
- [14] Vossen P. Chestnut culture inside California. Regents of the University of California, 2000, 18 p.

- [15] Barskaya E.I. *Izmenenie khloroplastov i vyzrevanie pobegov v svyazi s morozoustoychivost'yu drevesnykh rasteniy* [Changes in chloroplasts and shoot ripening due to frost resistance of woody plants]. Moscow: Nauka, 1967, 223 p.
- [16] Babich N.A., Karbasnikova E.B., Dolinskaya I.S. *Introdutsenty i ekstrazonal'nye vidy v urbanizirovannoy srede (na primere g. Vologdy)* [Introducers and extrazonal species in an urbanized environment (for example, Vologda): monograph]. Arhangel'sk: IPC SAFU, 2012, 184 p.
- [17] Vasil'ev S.V., Chepik F.A. *Semennoe razmnzhenie drevesnykh rasteniy v gorode: klyuchevye faktory, problemy i puti ikh resheniya* [Seed propagation of woody plants in the city: key factors, problems and solutions]. Lesa Evrazii – Bol'shoy Altay: materialy XV Mezhdunarodnoy konferentsii molodyakh uchenykh, posvyashchennoy 150-letiyu so dnya rozhdeniya professora G.N. Vysotskogo, Barnaul, 13–20 sentyabrya 2015 goda. Moscow: MSFU, 2015, pp. 122–125.
- [18] Krechetova N.V., Krestova O.F., Lyubich E.S., Novosel'tseva A.I. *Spravochnik po lesosemennomu delu* [Forest seed reference]. Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1978, 336 p.
- [19] Revyako I.I., Manchenko V.S., Revyako V.I. *Dekorativnost' Aesculus hippocastanum v usloviyakh urbolandshafta «Novocherkassk»* [Decorativeness of Aesculus hippocastanum in the conditions of the urban landscape «Novocherkassk»]. Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal), 2019, no. 1, pp. 52–62.
- [20] Golosova M.A., Gninenko Yu.I. *Poyavlenie orkhidskogo minera na kashtane koskom v Moskve* [Appearance of an orchid mineral on a chestnut in Kosk in Moscow]. Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik, 2006, t. 2, pp. 43–45.
- [21] Snieškienė V., Baležentienė L., Stankevičienė A. State of horse-chestnut, Aesculus hippocastanum L., in Lithuania: diseases and pest damages // Ekologija, 2011, t. 57, no. 2, pp. 62–69.

Author's 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

Received 02.05.2020.

Accepted for publication 10.08.2020.

УДК 630*4:574.3

DOI: 10.18698/2542-1468-2020-6-65-72

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБСЛЕДОВАНИЯ ОЧАГОВ СИБИРСКОГО ШЕЛКОПРЯДА (*DENDROLIMUS SIBIRICUS* TSCHETV.) НА ТЕРРИТОРИИ ВАСЮГАНСКОГО ЛЕСНИЧЕСТВА ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

Н.Б. Денисова¹, А.А. Соболев², У.С. Шипинская^{1,2}

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

²ФБУ «Рослесозащита», 141207, Московская обл., г. Пушкино, ул. Надсоновская, д. 13

aasobolev@live.ru

Приведены данные результатов инвентаризации очагов сибирского шелкопряда *Dendrolimus sibiricus* Tschetv. Рассмотрено состояние популяции вредителя и дана оценка угрозы объедания хвойных деревьев в лесных массивах лесничества. В Васюганском лесничестве выделены очаги, требующие проведения мероприятий по защите леса и ликвидации очагов вредителей. Представлены примеры расчета по обособленному участку с использованием переводных коэффициентов согласно таблиц численности вредителей на одно дерево, угрожающее 100%-м объеданием. Составлена схема очагов *D. sibiricus*. Для предотвращения расселения насекомого за границы своего ареала рекомендовано проводить лесопатологический мониторинг и наблюдения за популяциями сибирского шелкопряда на территории действующих очагов и в местах первичной резервации, а также своевременно организовывать мероприятия по защите леса.

Ключевые слова: сибирский шелкопряд, вспышка массового размножения, вредители леса, учет насекомых, угроза объедания, энтомофаги, ликвидация очагов вредителей леса

Ссылка для цитирования: Денисова Н.Б., Соболев А.А., Шипинская У.С. Результаты обследования очагов сибирского шелкопряда (*Dendrolimus sibiricus* Tschetv.) на территории Васюганского лесничества Томской области // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 6. С. 65–72. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-6-65-72

Сибирский шелкопряд *Dendrolimus sibiricus* Tschetv. (Lepidoptera; Lasiocampidae) — один из самых опасных хвоегрызущих вредителей леса. Насекомое развивается на всех хвойных породах, встречающихся в пределах его ареала. Особенно большой вред он причиняет кедровым, пихтовым и лиственничным лесам [1]. В связи с угрозой распространения на территорию Европы с 2002 г. *D. sibiricus* был включен в Единый перечень карантинных объектов Евразийского экономического союза (от 30 марта 2018 г. № 25).

Во многих литературных источниках отмечается, что подъем численности *D. sibiricus* начинается после продолжительного засушливого периода (более месяца) [2–4]. Сложившиеся климатические условия последних лет, главным образом повторяющиеся засухи, способствовали формированию очагов массового размножения сибирского шелкопряда в насаждениях Сибирского (в районах горной системы «Саяны», в Красноярском и Забайкальском краях, Республике Тыва, Томской обл.) и Дальневосточного федеральных округов (Республика Саха (Якутия)) [5].

Аномальная жара и засуха 2012 г. спровоцировали рост численности популяции сибирского шелкопряда в темнохвойных лесах Западной Сибири. В 2015 г. было зафиксировано формирование крупных очагов сибирского шелкопряда в кедровых насаждениях Томской обл. По данным Государственного лесного реестра в Томской обл. темнохвойными породами занято 4,2 млн га, в том

числе кедром сибирским — 3,6 млн га и пихтой сибирской — 0,6 млн га.

С начала 2016 г. наблюдалось резкое увеличение численности сибирского шелкопряда по всей азиатской части России. Площадь действующих очагов на конец 2016 г. составила 1,3 млн га, что на 45,1 % выше среднегодового показателя за период наблюдений 1962–2015 гг. Согласно Обзору санитарного и лесопатологического состояния лесов Российской Федерации, в 2016 году и прогнозу лесопатологической ситуации на 2017 год, такое быстрое увеличение площадей лесных участков, заселенных сибирским шелкопрядом, не наблюдалось с 2003 г. [6]. Вследствие продолжительной засухи в некоторых регионах в 2017–2018 гг. продолжилось формирование новых очагов массового размножения сибирского шелкопряда.

В ходе работ по государственному лесопатологическому мониторингу в 2018 г. Российский центр защиты леса провел инвентаризацию очагов сибирского шелкопряда в Томской обл. Значительные площади повреждений обнаружены в Васюганском лесничестве, расположенном в юго-западной части области – на территории Каргасокского муниципального района. Площадь лесничества составляет 2 983,4 тыс. га [7].

Цель работы

Цель работы — изучение состояния популяции *D. sibiricus* и определение угрозы объедания темнохвойных насаждений в Васюганском лесничестве, расчет угрозы повреждений насаждения сибирским шелкопрядом.

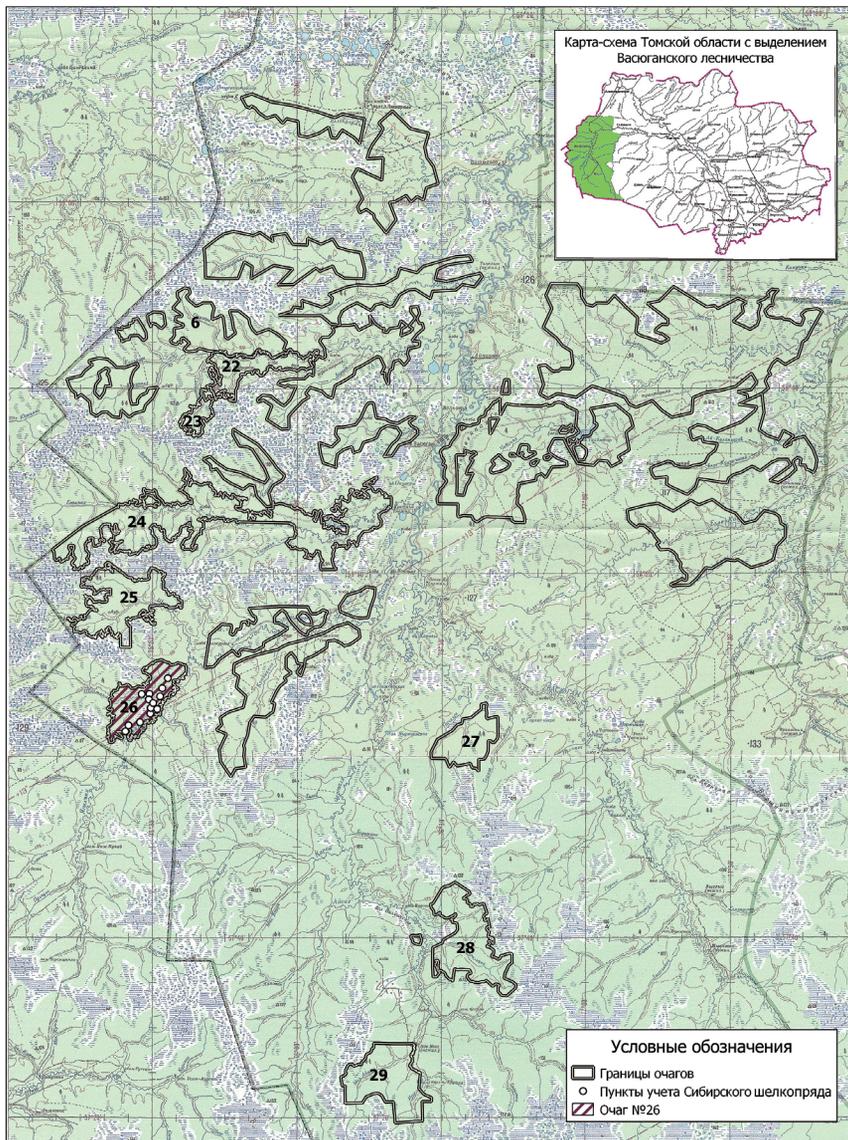


Рис. 1. Схема очагов массового размножения сибирского шелкопряда в Васюганском лесничестве

Fig. 1. Scheme of mass reproduction foci of the *Dendrolimus sibiricus* in the Vasyugan forestry

Материалы и методы исследований

Материалом для настоящего сообщения послужили данные, полученные в ходе полевых работ в период с 17 июля по 31 октября 2018 г. Работы были сосредоточены в темнохвойных насаждениях с участием кедра сибирского и приурочены к участкам с повреждениями древесного полога, выявленными при проведении дистанционных наблюдений по материалам космической съемки. Общая площадь наземных и дистанционных наблюдений на территории Васюганского лесничества составила 900 тыс. га. В ходе полевых работ выявлено 29 очагов массового размножения сибирского шелкопряда, девять из которых нуждаются в проведении мероприятий по защите леса и ликвидации очагов вредителей (рис. 1).

Полевые работы проводились в очагах распространения вредителя на пунктах учета [8], расположенных на маршрутных ходах, пересекавших темнохвойные древостои. Наиболее распространенными типами леса стали мшистые, мшисто-разнотравные, зачастую приуроченные к повышенным элементам рельефа. Расстояние между пунктами учета на маршрутных ходах в среднем составляло 1 км, но в некоторых случаях варьировало от 1 до 3 км, в зависимости от состава древостоя, фазы развития вредителя и плотности заселения.

Учет гусениц молодого поколения проводился методом околата модельных деревьев на учетные полога. Для модели выбиралось дерево диаметром до 20 см, входящее в первый ярус насаждения [9]. На пункте учета подбирались три модельных дерева,

под которыми расстилался полог, и проводился околот. Всего было учтено 312 деревьев. Упавшие на полог особи были подсчитаны, проанализированы на жизнеспособность, определен их возраст по размерам головной капсулы [9]. В процессе околота часть гусениц остается в кроне или падает за пределы полога, а при учете гусениц младших возрастов часть особей с помощью «парашютов» (паутинок) разносится воздушными потоками и не попадает на полог. В связи с этим для повышения точности данных вводились поправки, или переводные коэффициенты [9, 10], с учетом породы, диаметра и возраста модельных деревьев, а также погодных условий. Переводной коэффициент устанавливается специалистами, выполняющими полевые работы с учетом перечисленных факторов для каждого поколения гусениц. Для условий работы в Васюганском лесничестве были приняты следующие значения коэффициентов: для гусениц I–II возраста переводной коэффициент равен 2 — для сухой и солнечной погоды и 3 — для пасмурной и прохладной; для гусениц III–VII возраста он равен 1,5.

Степень повреждения хвои [11] на модельном дереве определялась по формуле

$$y = \frac{100A}{N_1}, \quad (1)$$

где Y — фактическое объедание модельного дерева;

A — абсолютная заселенность (число здоровых особей вредителя в кроне с учетом переводного коэффициента);

N_1 — критическое число особей вредителя, угрожающее дереву полной потери хвои [9].

Фактическое объедание может превышать 100 %. Это характерно для очагов, где численность вредителя столь высока, что ему не хватает фитомассы и он может погибнуть от недостатка кормовой базы. Для определения угрозы объедания породы в очаге использовалась формула

$$Y_n = Y_{\text{расч}} + Y_{\text{тек}}, \quad (2)$$

где Y_n — угроза объедания породы в очаге;

$Y_{\text{расч}}$ — расчетное объедание модельного дерева гусеницами двух поколений;

$Y_{\text{тек}}$ — текущее объедание модельного дерева на момент проведения работ.

Учет молодого поколения вредителя ведется отдельно от гусениц старших возрастов, поэтому угрозу объедания определяли для каждого поколения отдельно, а затем суммировали.

Для прогноза объедания очага на следующий год устанавливается средняя угроза для насаждения, которая вычисляется по формуле

$$Y_{\text{ср}} = \frac{\sum(Y_n n_n)}{n_{\text{общ}}}, \quad (3)$$

где $Y_{\text{ср}}$ — средневзвешенная угроза объедания в очаге;

Y_n — угроза объедания породы в очаге;

n_n — количество модельных деревьев породы в очаге;

$n_{\text{общ}}$ — количество модельных деревьев на очаг.

Общая угроза объедания в исследуемых очагах была рассчитана, как средневзвешенная от общей площади по формуле

$$M_y = \frac{\sum(Y_{\text{ср}} S)}{S_{\text{общ}}}, \quad (4)$$

где M_y — средневзвешенная угроза объедания насаждений в лесничестве;

$Y_{\text{ср}}$ — средневзвешенная угроза объедания в очаге;

S — площадь очага;

$S_{\text{общ}}$ — общая площадь очагов.

Результаты исследований

Затяжная весна и прохладный июнь 2018 г. оказали негативное влияние на развитие сибирского шелкопряда на территории Васюганского лесничества. Значительная часть популяции, гусеницы которой появились осенью 2017 г., не смогла закончить развитие в 2018 г. и ушла на вторую зимовку. Также в 2018 г. отмечалось увеличение сроков прохождения всех фаз развития вредителя. На графике изображена сумма эффективных температур (для дней со среднесуточной температурой более 10 °C) по месяцам [12] в 2016, 2017 и 2018 гг. (рис. 2).

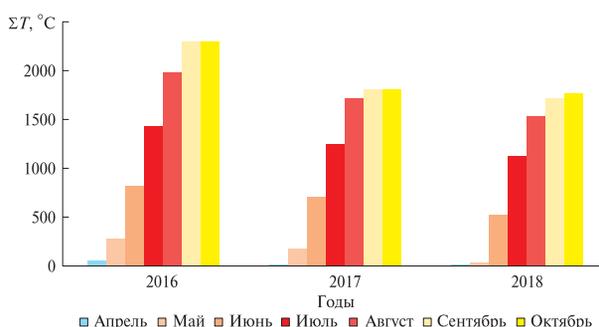


Рис. 2. График сумм эффективных температур на территории Каргасокского района

Fig. 2. Diagram of active temperatures' sums in the Kargasok region

В результате неблагоприятных погодных условий лет бабочек затянулся до середины августа. Период выхода гусениц из кладок занял более одного месяца и происходил начиная с III декады июля до конца августа. К концу осени 2018 г. локальные популяции сибирского шелкопряда развивались по смешанной генерации.

Т а б л и ц а 1

Сводная ведомость очагов с высокой угрозой объедания

Summary list of the high threat outbreaks

Номер очага	Площадь очага, тыс. га	Древесная порода	Средний диаметр ствола, см	Средний возраст, лет	Кол-во деревьев на точке учета, шт.	Среднее кол-во гусениц 1-го колена	Среднее кол-во гусениц 2-го колена	Расчетная угроза объедания породы в очаге, %	Средне-взвешенная угроза объедания в очаге, %
6	16,9	Кедр	18,0	80	7	216,4	24,6	64	59,0
		Пихта	18,1	81,2	17	179,1	26,6	57	
22	9,0	Кедр	17,4	73,5	31	114,2	17,4	56	58,3
		Пихта	17,7	76,9	26	137,1	22,4	61	
23	2,8	Кедр	17,0	70	2	252	17,3	78	53,8
		Пихта	18,4	84	10	138	16,8	49	
24	43,6	Кедр	17,9	79,4	16	484,3	30,4	82	100
		Пихта	17,0	70,2	44	678,1	33,7	134	
25	17,5	Кедр	16,8	68	5	754,8	43,2	198	100
		Пихта	16,9	68,9	28	833,4	43,4	200	
26	13,0	Кедр	16,8	68	10	115,2	15,9	65	59,5
		Пихта	17,8	77,9	29	114,5	15	58	
27	0,9	Кедр	17,5	75	20	0,7	0,08	0	10,2
		Пихта	16,2	62,3	13	86,2	13,0	26	
28	7,5	Кедр	16,2	62	10	34,4	7,0	18	26,4
		Пихта	16,4	63,6	11	58,2	16,8	34	
29	4,5	Кедр	17,3	72,5	16	19,9	6,5	6	14,8
		Пихта	16,6	65,9	17	43,4	21,2	23	
Итого	115,7				312				76,3

Т а б л и ц а 2

Сводная ведомость угрозы объедания кедра в пункте учета

Summary list of *Pinus sibirica* defoliation in the accounting point

Номер дерева	Возраст, лет	Текущее объедание модельного дерева, %	Кол-во гусениц на дереве, угрожающих ему 100%-м объеданием [9]*, шт.	Кол-во гусениц 1-го колена, шт.	Кол-во гусениц 2-го колена, шт.	Угроза объедания гусеницами 1-го колена, %	Угроза объедания гусеницами 2-го колена, %	Общая угроза объедания модельного дерева, %
1	80	50	420	90	12	10,7	2,9	64
2	60	45	240	240	9	50,0	3,8	99
3	60	40	240	66	18	13,8	7,5	61
4	60	40	240	90	21	18,8	8,8	68
5	60	30	240	90	12	18,8	5,0	54
6	80	30	420	180	27	21,4	6,4	58
7	60	35	240	120	12	25,0	5,0	65
8	80	35	420	84	18	10,0	4,3	49
9	80	40	420	66	21	7,9	5,0	53
10	60	45	240	126	9	26,3	3,8	75
Среднее арифметическое								64,6
*При учете гусениц сибирского шелкопряда в первый год зимовки приведенное в таблице число следует удвоить [9].								

В насаждениях присутствовали два колена вредителя: 1-е — особи молодого поколения сибирского шелкопряда, гусеницы II–III возрастов; 2-е — гусеницы V–VII возрастов с двухгодичным циклом развития, ушедшие на вторую зимовку.

В табл. 1 представлены данные по девяти очагам в которых численность вредителя угрожает сильным объеданием и для которых рекомендуется проведение мероприятий по защите леса, а также сведения о количестве гусениц с учетом переводных коэф-

фициентов (количество определяли умножением на коэффициент фактического числа особей вредителя). В результате обработки данных получена угроза объедания, которая рассчитывалась, как средневзвешенная от общей площади этих отобранных очагов. В целях объективного расчета средневзвешенной угрозы в 24 и 25 очагах значения были условно приняты за 100 %.

Из табл. 1 также видно, что на площади 115,7 тыс. га общая угроза объедания составляет 76,3 %.

Для примера расчета угрозы объедания был выбран очаг № 26. Его характеристики наиболее приближены к средним значениям по очагам, где численность вредителя угрожает объеданию более 25 %. Усредненная таксационная характеристика в выбранном участке следующая: средний состав — ЗК2Е1П1С3Б; средний возраст — 73 года; средняя полнота — 0,5; средний класс бонитета — IV. Наиболее показательным является расчет угрозы объедания кедра для 10 модельных деревьев в границах очага № 26 (табл. 2).

Угроза объедания деревьев кедра в очаге № 26 варьировала от 49 до 99 %. Среднеарифметическая угроза объедания для 10 модельных деревьев кедра составляет 64,6 %. Для проверки достоверности определения угрозы объедания кедра в очаге № 26 был проведен статистический расчет необходимого количества модельных деревьев при уровне вероятности 0,68 ($t = 1$) и ошибки выборки, равной 10 %, при котором $e = 0,1$ [13].

По результатам расчета необходимое количество модельных деревьев (N) для указанных условий равняется 5. Расчет проводился по формуле

$$N = \frac{t^2 S^2}{X^2 e^2}, \quad (5)$$

где t^2 — коэффициент из таблицы при заданном уровне вероятности;

X^2 — среднее значение плотности популяции вредителя по предварительной выборке;

S^2 — оценка дисперсии значений объедания деревьев кедра в очаге № 26, равная 205,6.

Несмотря на прогнозируемую угрозу объедания насаждений в 2019 г., численность сибирского шелкопряда начала снижаться. Этому способствовали неблагоприятные погодные условия и высокий уровень паразитизма, по свидетельству исполнителей работ. Высокий паразитизм яиц шелкопряда был вызван комплексом специализированных паразитов, из которых наиболее распространены *Telenomus tetratomus* Kief., а также яйцееды родов *Trichogramma* и *Pachyneuron solitarium* (Hart.). На большей части территории зараженность яйцеедами превышала 90 %.

Из энтомофагов, паразитирующих на гусеницах, встречались наездники-бракониды *Glypt-*

apanteles liparidis Bouché и *Rhogas dendrolimi* Mats. В куколках встречались виды двукрылых из семейств *Sarcophagidae* и тахина *Masicera sphingivora* R.D.

Выводы

Несмотря на появление энтомофагов, в частности яйцеедов, вспышка массового размножения вредителя в 2018 г. находилась в эруптивной фазе. На основании полученных полевых данных был сделан вывод, что часть темнохвойных насаждений в течение 2019 г. будет подвержена угрозе объедания. Средний процент угрозы дефолиации насаждений в указанных очагах высокий — 76,3 %. При такой угрозе объедания хвои в 2019 г. в Васюганском лесничестве продолжилось ослабление древостоев. Однако развитие в 2018 г. насекомых энтомофагов (паразитов) и погодные условия 2019 г. оказали негативное воздействие на популяцию сибирского шелкопряда. По данным наблюдений 2019 г. специалистами отмечено снижение численности сибирского шелкопряда и затухание значительной части его очагов.

Заключение

Сибирский шелкопряд представляет угрозу не только для темнохвойных насаждений азиатской части России [14]. Особенно остро стоит проблема расселения вредителя за границы его естественного ареала. Он является потенциально инвазивным видом для Европы, поскольку климат данного региона и состав преимущественно хвойных пород способствует его расселению [15, 16]. Вспышки массового размножения *D. sibiricus* могут нанести значительный ущерб экосистемам на больших территориях [17], поэтому для предотвращения расширения ареала вредителя необходимы прогнозы появления вспышек и оценки будущего состояния популяции с учетом погодных условий и биологических особенностей вида. Оперативному выявлению угрозы повреждения насаждений будет способствовать проведение государственного лесопатологического мониторинга [18] на территории действующих очагов и в лесных массивах, пригодных для развития насекомого [19]. Результаты исследований могут быть использованы для определения необходимости проведения мероприятий по ликвидации очагов сибирского шелкопряда.

Список литературы

- [1] Рожков А.С. Сибирский шелкопряд. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 175 с.
- [2] Кондаков Ю.П. Долгосрочный прогноз массового размножения сибирского шелкопряда // Лесное хозяйство, 1967. № 7. С. 69–71.

- [3] Haynes K.J., Allstadt A.J., Klimetzek D. Forest defoliator outbreaks under climate change: effects on the frequency and severity of outbreaks of five pine insect pests // *Glob Change Biol*, 2014. URL: <https://doi.org/10.1111/gcb.12506> (дата обращения 25.04.2020).
- [4] Kharuk V.I., Antamoshkina O.A. Impact of silkworm outbreak on taiga wildfires // *Contemp. Probl. Ecol.*, 2017, v. 10, pp. 556–562. <https://doi.org/10.1134/S1995425517050055> (дата обращения 25.04.2020).
- [5] Обзор санитарного и лесопатологического состояния лесов Российской Федерации в 2015 году и прогноз лесопатологической ситуации на 2016 год. М.: Российский центр защиты леса. Филиал ФБУ «Рослесозащита», 2015. 235 с.
- [6] Обзор санитарного и лесопатологического состояния лесов Российской Федерации в 2016 году и прогноз лесопатологической ситуации на 2017 год. М.: Российский центр защиты леса. Филиал ФБУ «Рослесозащита», 2016. 130 с. URL: <https://gov-news.ru/news/636247> (дата обращения 15.08.2020).
- [7] Лесохозяйственный регламент Васюганского лесничества Томской области утвержден приказом Департамента лесного хозяйства Томской области от 20.12.2013 № 128 «Об утверждении лесохозяйственного регламента Васюганского лесничества Томской области» URL: <https://deples.tomsk.gov.ru/lesohozjajstvennye-reglamenty> (дата обращения 15.08.2020).
- [8] Методы мониторинга вредителей и болезней леса / под ред. В.К. Тузова. М.: ВНИИЛМ, 2004. 200 с.
- [9] Ильинский А.И. Надзор, учет и прогноз массовых размножений хвое- и листогрызущих насекомых в лесах СССР. М.: Лесная пром-сть, 1965. 526 с.
- [10] Жохов П. И., Гречкин В. П., Коломиец Н. Г. Сибирский шелкопряд и меры борьбы с ним. М.: Гослесбумиздат, 1961. 141 с.
- [11] Методы прогнозирования массового размножения сибирского шелкопряда. М.: Центр. н.-и. ин-т информации и техн.-экон. исследований по лесной, целлюлозно-бумажной и деревообрабатывающей пром-сти, 1967. 9 с.
- [12] Архив погоды. URL: <http://rp5.ru/metar.php?metar=USNN&lang=ru> (дата обращения 18.10.2019).
- [13] Трофимов В.Н. Надзор, учет и прогноз массовых размножений вредителей лесов. М.: МГУЛ, 2004. 136 с.
- [14] Шипинская У.С., Денисова Н.Б., Соболев А.А. Динамика очагов *Dendrolimus sibiricus* Tschetw на территории Томской области // *Academy*, 2019. № 4 (43). С. 40–42.
- [15] Mõykkynen T., Pukkala T.: Modelling of the spread of a potential invasive pest, the Siberian moth (*Dendrolimus sibiricus*) in Europe // *Forest Ecosystems*, 2014, no. 1, p. 10. DOI: 10.1186/s40663-014-0010-7.
- [16] Flo D., Rafoss T., Wendell M. The Siberian moth (*Dendrolimus sibiricus*), a pest risk assessment for Norway // *For. Ecosyst.*, 2020, no. 7, p. 48. URL: <https://doi.org/10.1186/s40663-020-00258-9> (дата обращения 18.08.2020).
- [17] Baranchikov Siberian Moth – A relentless modifier of Taiga forest ecosystems in Northern Asia IBFRA – Boreal Forests in a Changing World: Challenges and Needs For Actions. Krasnoyarsk: Sukachev Institute of Forest SB RAS, 2011, pp. 105–107.
- [18] Приказ от 5 апреля 2017 года № 156 Об утверждении Порядка осуществления государственного лесопатологического мониторинга. URL: <http://docs.cntd.ru/document/456058836> (дата обращения 18.08.2020).
- [19] EPPO Bull 35:390–395. *Dendrolimus superans*. URL: https://gd.eppo.int/download/doc/931_ds_DENDSP_en.pdf (дата обращения 18.08.2020).

Сведения об авторах

Денисова Наталья Борисовна — канд. биол. наук, доцент кафедры лесоводства, экологии и защиты леса МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), jiusehok76@mail.ru

Соболев Алексей Александрович — зам. начальника отдела Государственного лесопатологического мониторинга ФБУ «Рослесозащита», aasobolev@live.ru

Шипинская Ульяна Сергеевна — студент кафедры лесоводства, экологии и защиты леса МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), ulanashipinska@mail.ru

Поступила в редакцию 21.09.2020.

Принята к публикации 29.09.2020.

STUDY RESULTS OF SIBERIAN MOTH (*DENDROLIMUS SIBIRICUS* TSCHETW.) OUTBREAK FOCI IN VASYUGAN FORESTRY OF TOMSK REGION

N.B. Denisova¹, A.A. Sobolev², U.S. Shipinskaya^{1,2}

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 the results of the inventory of outbreak foci of *D. sibiricus* in the Vasyugan forestry, Tomsk region. The purpose of the article was reflecting the state of the pest population and assessing a threat of defoliation of forests. Pests were measured by caterpillars using the method of knocking on model trees. According to the results, 29 isolated foci were identified, including 9 foci requiring actions to target pests. The threat of defoliation of forest areas in these foci was 76,3 %. The article gave us the examples of calculation of population characteristics determination in one foci using the conversion factors based (Ilyinsky, 1965). Defoliation, weather conditions in 2018 and development of entomophage have had a negative impact on the population. Also there is a risk of the pest spreading beyond its natural habitats. Mõykkynen and Pukkala in the article «Modelling of the spread of a potential invasive pest, the Siberian moth in Europe» makes a forecast of *D. sibiricus* resettlement in Europe, Belarus and the Baltic States will be most at risk of settlement. Also, of particular concern are the prerequisites for the occurrence of pest outbreaks in the European part of Russia, therefore, in order to prevent insect resettlement beyond the boundaries of their range, it is necessary to conduct forest-pathological monitoring of populations on the territory of existing outbreaks and in places of primary reservation.

Keywords: *Dendrolimus sibiricus*, outbreak of insect epidemics, forest pest, insect census, threat of browsing, entomophage, elimination pest outbreak

Suggested citation: Denisova N.B., Sobolev A.A., Shipinskaya U.S. *Rezultaty obsledovaniya ochagov sibirskogo shelkopryada (Dendrolimus sibiricus Tschetw.) na territorii Vasyuganskogo lesnichestva Tomskoy oblasti* [Study results of siberian moth (*Dendrolimus sibiricus* Tschetw.) outbreak foci in Vasyugan forestry of Tomsk region]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 6, pp. 65–72. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-6-65-72

References

- [1] Rozhkov A.S. *Sibirskiy shelkopryad* [Siberian silkworm]. Moscow: Publishing house of the Academy of Sciences of the USSR, 1963, 175 p.
- [2] Kondakov Y.P. *Dolgosrochnyy prognoz massovogo razmnozheniya sibirskogo shelkopryada* [Long-term forecast of mass reproduction of the Siberian silkworm]. *Lesnoye khozyaystvo* [Forestry], 1967, no. 7, pp. 69–71.
- [3] Haynes K.J., Allstadt A.J., Klimetzek D. Forest defoliator outbreaks under climate change: effects on the frequency and severity of outbreaks of five pine insect pests. *Glob Change Biol*, 2014. Available at: <https://doi.org/10.1111/gcb.12506> (accessed 25.04.2020).
- [4] Kharuk V.I., Antamoshkina O.A. Impact of silkmoth outbreak on taiga wildfires. *Contemp. Probl. Ecol.*, 2017, v. 10, pp. 556–562. <https://doi.org/10.1134/S1995425517050055> (accessed 25.04.2020).
- [5] *Obzor sanitarnogo i lesopatologicheskogo sostoyaniya lesov Rossiyskoy Federatsii v 2015 godu i prognoz lesopatologicheskoy situatsii na 2016 god* [Review of the sanitary and forest pathological state of the forests of the Russian Federation in 2015 and the forecast of the forest pathological situation for 2016]. Moscow: Russian Center for Forest Protection. Branch of FBU «Roslesozashchita», 2015, 235 p.
- [6] *Obzor sanitarnogo i lesopatologicheskogo sostoyaniya lesov Rossiyskoy Federatsii v 2016 godu i prognoz lesopatologicheskoy situatsii na 2017 god* [Review of the sanitary and forest pathological state of the forests of the Russian Federation in 2016 and the forecast of the forest pathological situation for 2017]. Moscow: Russian Center for Forest Protection. Branch of FBU «Roslesozashchita», 2016, 130 p. Available at: <https://gov-news.ru/news/636247> (accessed 15.08.2020).
- [7] *Lesokhozyaystvennyy reglament Vasyuganskogo lesnichestva Tomskoy oblasti utverzhen prikazom Departamenta lesnogo khozyaystva Tomskoy oblasti ot 20.12.2013 № 128 «Ob utverzhenii lesokhozyaystvennogo reglamenta Vasyuganskogo lesnichestva Tomskoy oblasti»* [The forestry regulations of the Vasyugan forestry of the Tomsk region were approved by the order of the Forestry Department of the Tomsk region dated 20.12.2013 No. 128 «On approval of the forestry regulations of the Vasyugan forestry of the Tomsk region»]. (accessed 15.08.2020).
- [8] *Metody monitoringa vreditel'nykh i bolezney lesa* [Methods for monitoring forest pests and diseases]. Ed. V.K. Tuzova. Moscow: VNIILM, 2004, 200 p.
- [9] I'inskiy A.I. *Nadzor, uchet i prognoz massovykh razmnozheniy khvoe- i listogryzushchikh nasekomykh v lesakh SSSR* [Supervision, registration and forecast of mass reproduction of pine and leaf-gnawing insects in the forests of the USSR]. Moscow: Lesnaya promyshlennost, 1965, 526 p.
- [10] Zhokhov P. I., Grechkin V. P., Kolomiets N. G. *Sibirskiy shelkopryad i mery bor'by s nim* [Siberian silkworm and measures to combat it]. Moscow: Goslesbumizdat, 1961, 141 p.
- [11] *Metody prognozirovaniya massovogo razmnozheniya sibirskogo shelkopryada* [Methods for predicting mass reproduction of the Siberian silkworm]. Moscow: Central Scientific Research Institute of Information and Technical and Economic Research on the Forestry, Pulp and Paper and Woodworking Industry, 1967, 9 p.
- [12] *Arkhiv pogody* [Weather archive]. Available at: <http://rp5.ru/metar.php?metar=USNN&lang=ru> (accessed 18.10.2019).

- [13] Trofimov V.N. *Nadzor, uchet i prognoz massovykh razmnozheniy vreditel' lesov* [Supervision, accounting and forecast of mass reproduction of forest pests]. Moscow: MGUL, 2004, 136 p.
- [14] Shipinskaya U.S., Denisova N.B., Sobolev A.A. *Dinamika ochagov Dendrolimus sibiricus Tschetw na territorii Tomskoj oblasti* [Dynamics of foci of *Dendrolimus sibiricus* Tschetw in the Tomsk region]. Academy, 2019, no. 4 (43), pp. 40–42.
- [15] Mõykkynen T., Pukkala T.: Modelling of the spread of a potential invasive pest, the Siberian moth (*Dendrolimus sibiricus*) in Europe // *Forest Ecosystems*, 2014, no. 1, p. 10. DOI: 10.1186/s40663-014-0010-7.
- [16] Flo D., Rafoss T., Wendell M. The Siberian moth (*Dendrolimus sibiricus*), a pest risk assessment for Norway // *For. Ecosyst.*, 2020, no. 7, p. 48. URL: <https://doi.org/10.1186/s40663-020-00258-9> (accessed 18.08.2020).
- [17] Baranchikov Siberian Moth – A relentless modifier of Taiga forest ecosystems in Northern Asia IBFRA – Boreal Forests in a Changing World: Challenges and Needs For Actions. Krasnoyarsk: Sukachev Institute of Forest SB RAS, 2011, pp. 105–107.
- [18] *Prikaz ot 5 aprelya 2017 goda N 156 Ob utverzhdenii Poryadka osushchestvleniya gosudarstvennogo lesopatologicheskogo monitoringa* [Order of April 5, 2017 N 156 On approval of the Procedure for the implementation of state forest pathological monitoring]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/456058836> (accessed 18.08.2020).
- [19] EPPO Bull 35: 390-395. *Dendrolimus superans*. Available at: https://gd.eppo.int/download/doc/931_ds_DENDSP_en.pdf (accessed 18.08.2020).

Authors' information

Denisova Natalya Borisovna — Cand. Sci. (Biology), Associate Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), jiucehok76@mail.ru

Sobolev Aleksey Aleksandrovich — Deputy Head of the Department of state forest pathological monitoring, FBU «Russian Forest Protection Center», aasobolev@live.ru

Shipinskaya Ulyana Sergeevna — Student of the BMSTU (Mytishchi branch), ylanashipinska@mail.ru

Received 21.09.2020.

Accepted for publication 29.09.2020.

АККУМУЛЯЦИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В СНЕГОВОЙ ВОДЕ, ПОЧВЕ И СОСТОЯНИЕ БЕРЕЗОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Н.А. Кузьмина, П.Е. Мохначев, С.Л. Менщиков

ФГБУН «Ботанический сад Уральского отделения РАН» (Лесной отдел), 620144, г. Екатеринбург, ул. Билимбаевская, д. 32А
yarkaya05@mail.ru

Представлены результаты исследования снежного покрова, почвы и состояния березовых древостоев, находящихся под воздействием аэротехногенных выбросов АО «Карабашмедь», которые загрязняют окружающую среду и изменяют ее более 100 лет. Выявлено, что по мере приближения к источнику загрязнения происходит снижение pH снеговой воды, достоверно увеличиваются масса сухого остатка и содержание взвешенных веществ. Установлено превышение содержания тяжелых металлов в радиусе 5 км от комбината в снеговой воде, по сравнению с фоном в десятки раз. Здесь же местами обнаружено отсутствие напочвенного покрова. Атмосферные осадки частично сорбируют загрязняющие вещества, содержащиеся в аэротехногенных выбросах предприятия, и напрямую попадают в снежный покров и почву. Результаты исследований уровня загрязнения снега и почвы позволяют оценить состояния лесных экосистем. Выявлено поступление тяжелых металлов на земную поверхность по результатам анализа химического состава снежных осадков, и определен ряд по мере убывания: Fe > Zn > Cu > Pb > Mn > Cd > Ni в 1 км от комбината. Одними из основных загрязнителей является железо, цинк, медь содержащиеся в шлаках руды в виде пирита, магнетита и поступающее при обработке с выбросами пыли в атмосферу, затем адсорбируется или растворяется и поступает со снегом, загрязняя почвенный покров. В фоновых условиях (24 км) со снежными осадками Fe, Zn и Cu поступало меньше на 95 %, чем в импактных зонах вблизи источника (1 км). Определено значительное превышение содержания тяжелых металлов, таких как Cu, Zn, Pb, Fe и Cd в лесной подстилке и верхних горизонтах почвы в зоне сильного загрязнения. Обнаружено снижение содержания металлов вниз по профилю почвы в зоне сильного загрязнения, а в фоне — возрастание с глубиной. Установлено опосредованное (через почву) и прямое негативное влияние газов (диоксида серы, пары формальдегида и фтороводорода) и выбросов пыли от комбината на состояние березовых древостоев, определяющее увеличение дефолиации, среднего индекса повреждения, а также уменьшение средней высоты деревьев.

Ключевые слова: береза повислая *Betula pendula* Roth., аэротехногенное загрязнение, снеговая вода, тяжелые металлы, почва, березовый древостой, таксационные показатели, дефолиация, категория состояния

Ссылка для цитирования: Кузьмина Н.А., Мохначев П.Е., Менщиков С.Л. Аккумуляция тяжелых металлов в снеговой воде, почве и состоянии березовых древостоев в условиях техногенного загрязнения // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 6. С. 73–82. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-6-73-82

На восточном макросклоне Южного Урала в районе Восточно-Уральской провинции предгорных сосново-березовых лесов Уральской горно-лесной зоны [1] более 110 лет расположен АО «Карабашмедь» (до 2004 года — Карабашский медеплавильный комбинат). Дымовые газы, поступающие из труб комбината, содержат до 82 % диоксида серы, а также оксид углерода, диоксид азота, пары формальдегида и фтороводорода, неорганическую пыль и тяжелые металлы (ТМ), которые при совместном воздействии на лесные биогеоценозы обладают высокой токсичностью [2–4]. Породные и шлаковые отвалы, пиритсодержащие хвостохранилища также неблагоприятно влияют на окружающую среду и здоровье населения вследствие пыления [4].

За время существования комбината в окружающую среду поступило значительное количество отходов производства, что крайне неблагоприятно отразилось на экологической обстановке и состоянии компонентов лесных насаждений [5–8]. В настоящее время комбинат окружают техногенные ландшафты с мертвым напочвенным покровом (в радиусе до 5 км от труб в северо-восточном направлении) и техногенные пустоши (рис. 1).

В состав предприятия входят медеплавильное производство мощностью до 150 тыс. т черновой меди в год (в том числе 130 тыс. т из минерального сырья) [2]. За период с 2004 по 2018 г. на производстве была проведена крупнейшая реконструкция химико-металлургического комплекса: установлены мощные системы фильтрации, устаревшие шахтные печи заменены на современные, также построен второй серноокислотный цех для утилизации металлургических газов [2]. В то же время, по официальным данным Министерства экологии Челябинской обл., снижаются объемы выбросов завода: с 13,2...13,8 тыс. т в 2010–2012 гг. до 5,387...6,101 тыс. т в 2016–2018 гг. [9–11].

О степени загрязнения атмосферы, атмосферных осадков и изменении техногенной нагрузки в разных зонах влияния промышленных предприятий позволяют судить исследования снежного покрова. Снежный покров является индикатором комплексного мониторинга оседающей на него пыли и последующего загрязнения почв и водоемов [12].

Распределение элементов по почвенному профилю позволяет определить степень загрязнения почвы. Тяжелые металлы в почве способны



а

б

Рис. 1. Техногенная пустыня (а) и березовые древостои с погибшим напочвенным покровом (б)

Fig. 1. Technogenic desert (a) and birch stands with dead ground cover (b)

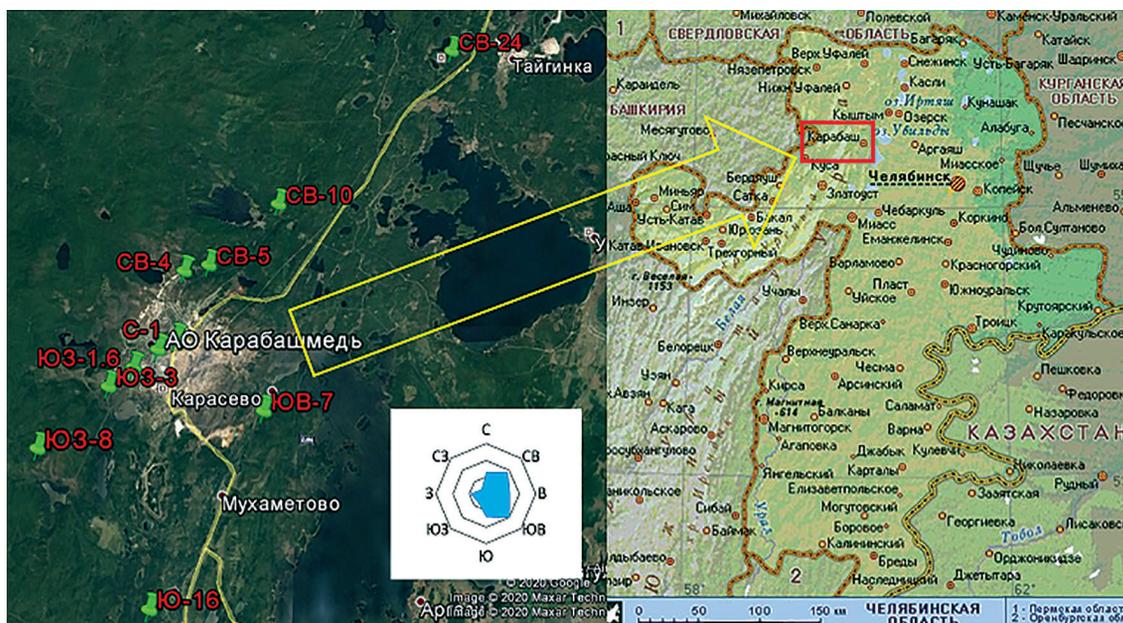


Рис. 2. Расположение опытных участков в зоне влияния комбината «Карабашмедь»

Fig. 2. The location of the pilot plots in the zone of influence of the Combine «Karabashmed»

накапливаться и оказывать токсическое воздействие на биоценозы даже при низких концентрациях. Почвы как сложные саморегулирующие системы способны оказывать сопротивление внешнему воздействию, поддерживая изначальное равновесие за счет взаимодействия почвенных компонентов между собой и с другими объектами биосферы, но эта способность утрачивается и выходит из первоначального равновесия в результате длительного постоянного воздействия аэропромвыбросов [13].

Широкое распространение такого лесообразующего вида как — березы повислой (*Betula pendula* Roth.) — часто используется в биологическом мониторинге [14, 15] для составления обоснованных заключений о состоянии древостоя и его ответной реакции на длительное загрязнение [16]. В данном районе исследования береза

в качестве модельного объекта является более устойчивым видом к техногенным нагрузкам, чем сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), устойчивость отмечена и другими учеными [17].

Цель работы

Цель работы — изучение жизненного состояния и особенностей роста березы повислой, а также накопления тяжелых металлов в снеговой воде и почве в зоне действия АО «Карабашмедь» на фоне снижения аэротехногенных выбросов.

Материалы и методы исследования

Объектами исследования служили снежный покров, почвы и естественные березовые древостои, произрастающие в условиях влияния выбросов АО «Карабашмедь». Для объективной оценки техногенной нагрузки нами было заложено 10 posto-

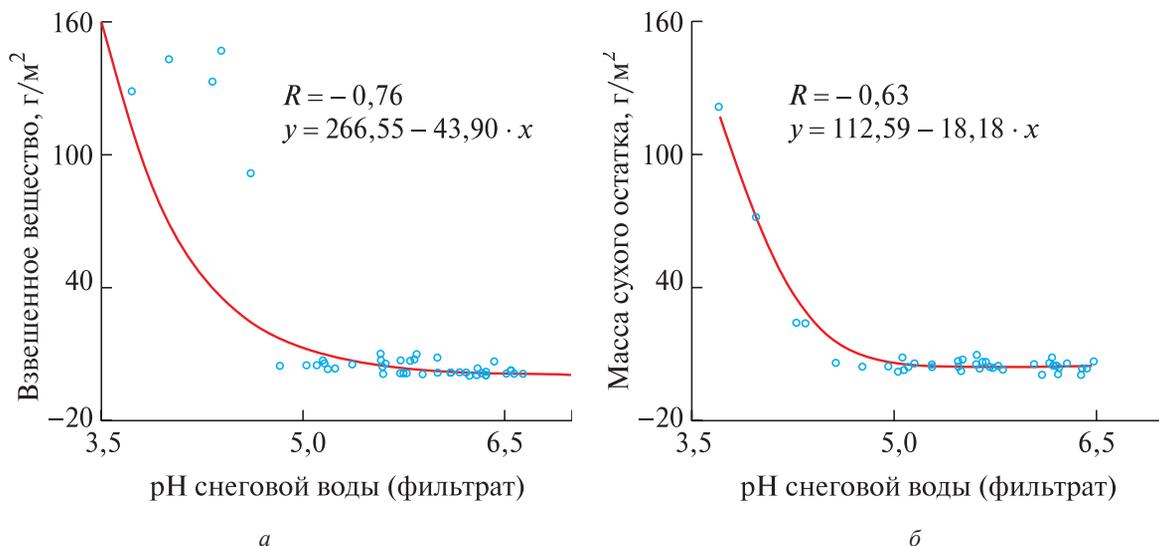


Рис. 3. Корреляция кислотности снеговой воды (фильтрата) с содержанием массы взвешенного вещества (а) и сухого остатка (б) в зависимости от удаления до источника выбросов

Fig. 3. Correlation of the acidity of snow water (filtrate) with the content of suspended matter (a) and dry residue (б), depending on the removal of emissions

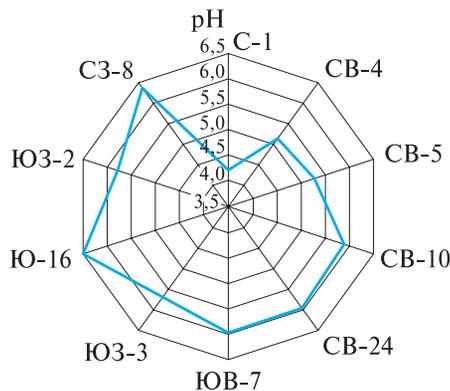
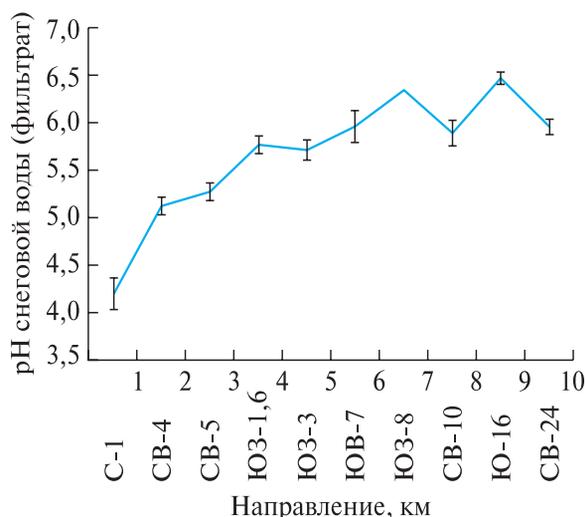


Рис. 4. Изменение кислотности снеговой воды в зонах влияния АО «Карабашмедь» в разных направлениях

Fig. 4. Change in the acidity of snow water in the zones of influence of JSC «Karabashmed» in different directions

янных пробных площадей (ППП) на расстоянии от 1 до 24 км в различных направлениях от комбината (С-1, СВ-4, СВ-5, ЮЗ-1,6, ЮЗ-3, ЮЗ-8, ЮВ-7, СВ-10, Ю-16, СВ-24: где буквами обозначено направление, цифрами — расстояние от источника загрязнения в километрах), на которых в марте 2016 г. для химического анализа были отобраны образцы снега. Северное и северо-восточное направления, согласно розе ветров, являются основным сносом газообразных и пылевых выбросов при движении воздушных масс (рис. 2). В данной статье приводятся результаты исследования таксационных показателей и санитарного состояния березняков на четырех ППП (СВ-4 и СВ-5 — зоны сильного загрязнения, СВ-10 — среднего, СВ-24 — фон) заложенных в сходных лесорастительных условиях (березняки разнотравно-злаковые 7–8 класса возраста, полнота 0,7–0,8). Временная

пробная площадь (ВПП) — С-1 была заложена в зоне сильного загрязнения, техногенной пустыне, где отсутствуют древесная растительность и напочвенный покров, а верхние горизонты почвенного грунта смыты и сильно эродированы (см. рис. 1, а).

Образцы снега были отобраны в конце марта (до начала снеготаяния), с помощью пластиковой трубы ($d = 7$ см), в полиэтиленовые пакеты в пяти повторностях с каждого участка. В лабораторных условиях проведены химические анализы. Снеговая вода была профильтрована через обеззоленные фильтры, затем они были взвешаны, проанализированы на количество пыли, выпавшей с атмосферными осадками за зимний период по общепринятым методикам [21].

Почвенные образцы отбирали осенью на исследуемых ППП по ГОСТ 17.4.4.02.84 [18].

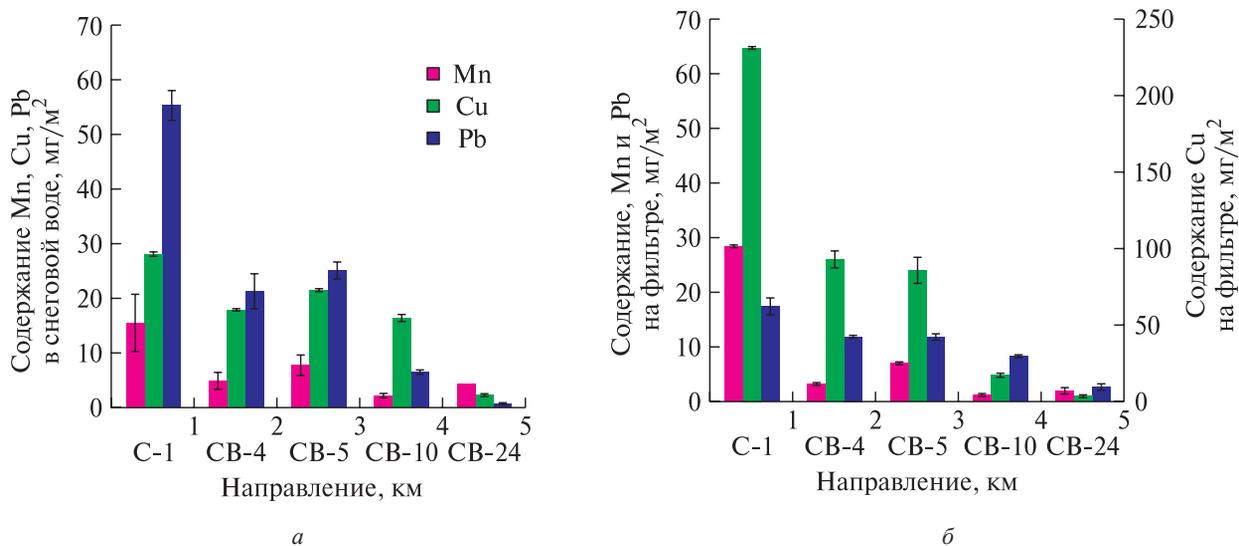


Рис. 5. Распределение химической нагрузки по Mn, Cu и Pb в снеговой воде (*a* — вода) и на фильтре (*б* — пыль) на различном расстоянии от АО «Карабашмедь»
Fig. 5. Distribution of chemical load by Mn, Cu and Pb in snow water (*a* — liquid fraction) and on the filter (*b* — solid fraction) at various distances from JSC «Karabashmed»

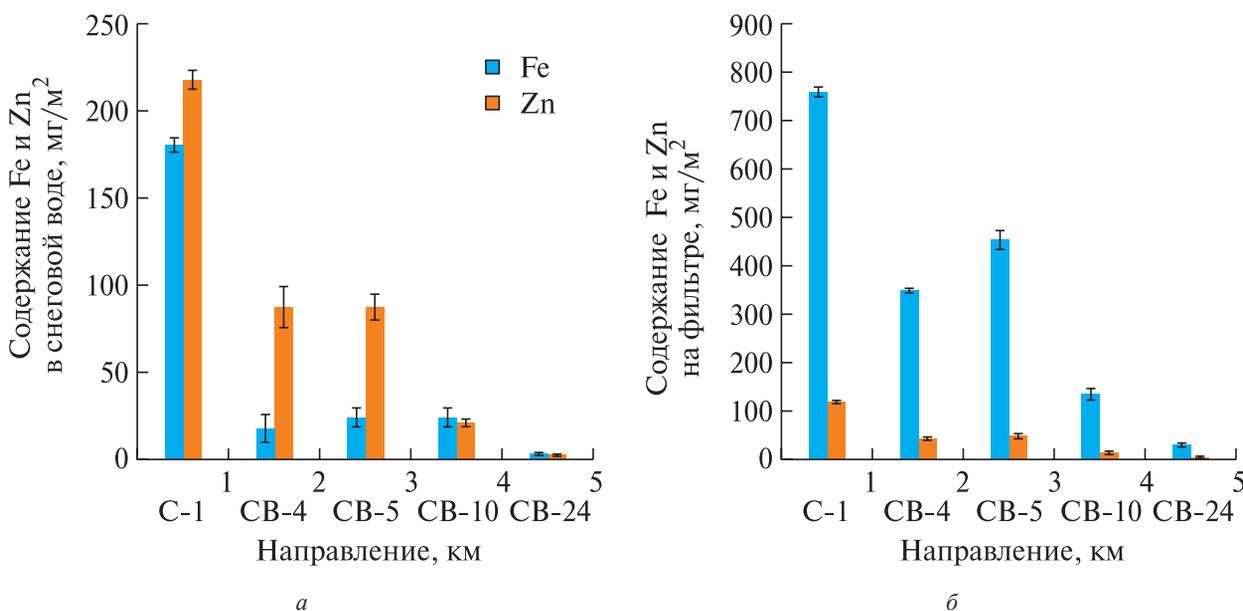


Рис. 6. Распределение химической нагрузки по Fe и Zn в снеговой воде (*a* — вода) и на фильтре (*б* — пыль) на различном расстоянии от АО «Карабашмедь»
Fig. 6. Distribution of chemical load by Fe and Zn in snow water (*a* — liquid fraction) and on the filter (*b* — solid fraction) at various distances from JSC «Karabashmed»

Определяли рН в водной вытяжке согласно ГОСТ 26423–85. [19]. Металлы из почвы экстрагировали ацетатно-амонийным буферным раствором [20]. Применяли нормативные документы для поверхностных вод по ГОСТ 12.1.007–76 [21, 22] и атмосферных осадков [23] в виде снега и методические указания по определению подвижных форм ТМ в почвах [24]. Концентрации макро- и микроэлементов измеряли на пламенном атомно-абсорбционном спектрофотометре (нов AA 300, Analytik Jena, Германия).

Диаметр стволов деревьев определяли через окружность ствола и измеряли мерной лентой с точностью до 0,1 см на высоте груди человека (1,3 м). Высота деревьев определена с помощью дальномера-высотомера Nikon Forestry Pro. Жизненное состояние березовых древостоев оценивали визуально по методике, предложенной В.А. Алексеевым [25]. Главным методико-диагностическим признаком служил показатель дефолиации кроны, что позволило применять его в лесах, поврежденных аэротехногенными выбросами [26].

Статистическую обработку полученных данных проводили с использованием пакета программ Statistica SPPSS 23.0.

Результаты и обсуждение

На основании данных химического анализа снеговой воды выявлено увеличение массы сухого остатка и содержание взвешенных веществ в снеговой воде по мере приближения к источнику выбросов, снижение значение показателя pH снеговой воды (фильтрат), т. е. за счет увеличения пыли и газов в атмосферном воздухе вблизи комбината снег сильно минерализован и подкислена pH снеговой воды (рис. 3). Установлена связь показателя pH снеговой воды с массой взвешенных веществ в снеговой воде ($r = -0,76$ при $p < 0,0005$), а также с массой выпаренного при анализе сухого остатка ($r = -0,63$ при $p < 0,0005$).

Атмосферные осадки в естественных условиях всегда имеют слабокислую реакцию среды, что определяется концентрацией двуокси углерода в воздухе. В зоне сильного влияния комбината газообразные выбросы диоксида серы с выпадающими снежными осадками обеспечивают образование сернистой и серной кислот (pH = 1,5), за счет чего происходит подкисление снеговой воды.

Химический анализ снеговой воды показал pH = 4,2 в 1 км от комбината, а в фоне (24 км) водородный показатель на две единицы выше. Очень кислая реакция снеговой воды в северном направлении наблюдается на расстоянии до 5 км, что подтверждает негативное влияние комбината. Смещение показателя pH снеговой воды происходит с расстоянием во всех направлениях (рис. 4).

Снеговая вода состоит из жидкой (вода) и твердой (взвешенное вещество в виде пыли) фракций на фильтре. За зимний период (4–5 мес.) с осадками в виде снега (сумма = жидкая + твердая фракции) поступило превышенное содержание тяжелых металлов на поверхность почвы в зонах влияния АО «Карабашмедь», по сравнению с фоном. В снеговой воде слабо растворимые соли свинца показали большую растворимость в снеговой воде (55 мг/м²) в 1 км, чем в пыли на фильтре (18 мг/м²). Возможно, на растворение свинца повлияла кислая реакция снеговой воды (pH = 4,2). В зоне сильного загрязнения (1 км) выпадает с пылью до 232 мг/м² нерастворимых оснований меди (рис. 5 а, б). С выбросами от АО «Карабашмедь» поступает железо, как в виде пыли (764 мг/м²), так и в снеговой воде (220 мг/м²). Цинка за зимний период выпало больше в растворенной форме; кадмия не было обнаружено в пыли, но превышение обнаружено в снеговой воде во всех зонах, в контроле в пределах нормы предельно допустимой концентрации (ПДК) (рис. 6 а, б и рис. 7).

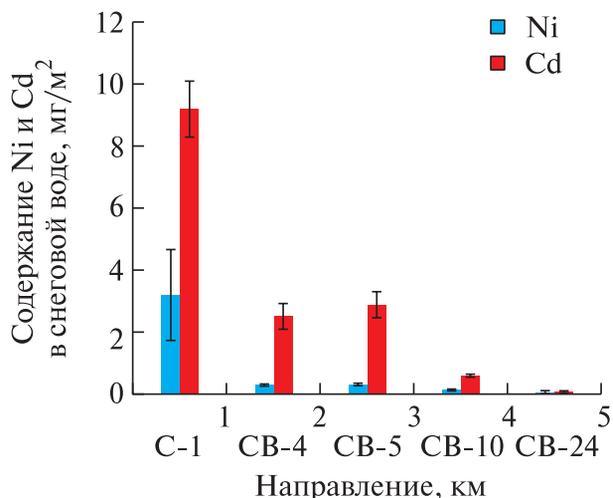


Рис. 7. Распределение химической нагрузки по Ni и Cd в снеговой воде (жидкая фракция) на различном расстоянии от АО «Карабашмедь»

Fig. 7. Distribution of chemical load for Ni and Cd in snow water (liquid fraction) at various distances from JSC «Karabashmed»

Ниже указано превышение суммированных концентраций тяжелых металлов, поступивших со снегом (кроме Cd — обнаружен только в снеговой воде, см. рис. 7) в сравнении с фоном:

	1 км	4...5 км	10 км
Fe	в 21 раз	в 11 раз	в 4 раза
Zn	в 37 раз	в 15 раз	в 4 раза
Cu	в 49 раз	в 21 раз	в 6 раз
Pb	в 21 раз	в 11 раз	в 4 раз
Cd	в 90 раз	в 30 раз	в 6 раз

Горные лесные почвы Южного Урала имеют мощность не более 1 м. Снег с адсорбированными на пылевых частицах или растворенными ТМ загрязняет почвы в зонах влияния АО «Карабашмедь». В районе исследования в зонах сильного загрязнения (на участках С-4 и С-5) напочвенный покров отсутствует, а опад под березовыми древостоями — слаборазложившийся мощностью до 5...8 см. Подстилка в этих зонах разлагается очень медленно, мощность ее составляет до 5 см по сравнению с участком СВ-10 и фоном, где толщина подстилки составляет 1,5...2 см.

По данным работы В.П. Фирсовой [27], горно-лесные почвы Южного Урала имеют кислую реакцию — от 4,4...6,0. Геологическое строение Карабашского массива и структура почв [28], сформированных на серпентинизированных ультраосновных кислых подстилающих породах исследуемого района, соответствуют полученным значениям pH почв, приведенных в табл. 1. Величина pH в подстилках (А0) изменяется от 4,6 до 6,2 по мере удаления от источника загрязнения. В.П. Фирсова

Т а б л и ц а 1

**Накопление тяжелых металлов в почве по горизонтам
и в зависимости от удаления от АО «Карабашмедь»**
Accumulation of heavy metals in the soil along the horizons and depending
on the distance from the JSC «Karabashmed»

Участок, км	Горизонт	Глубина, см	рН (H ₂ O)	Содержание, мг/кг						
				Cu	Zn	Pb	Mn	Fe	Cd	Ni
С-4	A0	0...2,9	4,8	1460	1280	998	295	124	15,3	2,9
	A1	3...5,5	5,0	1400	760	394	141	628	5,0	3,1
	A2B	5,6...12,0	4,7	462	400	61,5	59,4	343	1,4	1,3
	B1	12,1...25,0	4,9	504	243	He обн.	67,6	86	3,0	2,3
	CD	25,1...47,0	5,1	31	200	«←→»	34,2	33,8	0,6	3,1
С-5	A0	0...9,0	4,6	800	428	423	126	535	3,65	1,7
	A1	9,1...13,0	5,1	490	1090	113	308	56,8	9,3	6,8
	A2B	13,1...48,0	5,3	20,2	163	He обн.	254	145	He обн.	5,0
	B	48,1...89,0	5,6	448	128	33	94	133	2,3	2,3
	BC	89,1...100,0	5,9	7,3	2,1	He обн.	77,8	62,2	He обн.	1,6
СВ-10	A0	0...0,5	6,2	1,1	175	24,1	927	5,4	1,7	0,1
	A1	0,6...12,0	6,5	9,0	28	He обн.	137	5,9	0,1	6,9
	BC	12,1...30	6,2	1,7	6,5	«←→»	245	61,3	0,2	18,3
СВ-24 (фон)	A0	0...1,0	5,7	0,9	78,7	11,6	864	7,4	0,5	He обн.
	A1	1,1...1,6	6,4	4,8	20,7	9,5	219	3,3	0,	6,4
	A1A2	6,1...10,0	5,8	0,5	1,9	0,5	262	98	0,03	6,7
	BC	10,1...35,0	6,1	0,5	He обн.	1,93	93,9	111	0,02	22,9
ПДК для подвижных форм тяжелых металлов				3	23	6	140	–	0,2	4

также отмечала, что «в почвах, сформированных на основных породах, кислотность с глубиной уменьшается, а в сформированных на кислых породах — в большинстве случаев увеличивается» [27], что соответствует данным рН в почвенных разрезах на участках С-4, С-5 и СВ-10, СВ-24. Накопление в подстилке и гумусо-аккумулятивном горизонте ТМ Cu, Zn, Pb, Fe и Cd подтверждает техногенный характер (табл. 1) и прослеживается на расстоянии до 10 км от АО «Карабашмедь». Содержание этих ТМ уменьшается с глубиной по профилю почвы и с удалением от источника выбросов, за исключением Fe. В зонах сильного загрязнения в подстилке Cu и Zn накапливается до 1,3...1,5 г/кг почвы, Pb — до 1 г/кг, Cd — в горизонте А1 на расстоянии четвертого километра в 6280 раз и 5350 раз выше предельно допустимой концентрации (ПДК) в подстилке на пятом километре. Природа происхождения Mn

на данный момент не выяснена, так как анализ снега не подтверждает выпадение с атмосферными осадками данного металла в превышающих количествах, а накопление в подстилке на десятом километре и в фоне происходит практически до 1 г/кг почвы.

В результате изучения таксационных показателей березовых древостоев выявлено, что в северо-восточном направлении в 4 и 5 км от комбината происходит достоверное снижение средних высот деревьев, разница по сравнению с фоном составляет 2,15...3,35 м (табл. 2).

При приближении к источнику загрязнения у деревьев достоверно увеличиваются (при $p < 0,05$) степень дефолиации и индекс повреждения (см. табл. 2). Так на ППП на расстоянии 10, 5 и 4 км от комбината преобладают деревья третьей категории состояния (62, 67 и 79 % соответственно), здоровые деревья отсутствуют.

Т а б л и ц а 2 Список литературы

Характеристика березового древостоя

Characteristics of a birch stand

Уча- сток	Средняя высота, м	Средний диаметр ствола, см	Средняя дефолиа- ция, %	Категория состояния
С-4	20,18 ± 0,34*	26,53 ± 0,67	47,90 ± 1,04*	2,88 ± 0,05*
С-5	21,38 ± 0,22*	22,33 ± 0,42	47,87 ± 0,92*	2,86 ± 0,05*
СВ-10	23,24 ± 0,26	23,95 ± 0,47	43,09 ± 1,71*	2,79 ± 0,10*
СВ-24 (фон)	23,53 ± 0,43	23,70 ± 0,76	35,06 ± 1,83	2,18 ± 0,09

*различия с контролем достоверны при $p < 0,05$.

Выводы

Исследование снежного покрова и почвы в очаге загрязнения показали следующее. В снеговой воде значительно превышено содержание тяжелых металлов — в десятки раз по сравнению с фоном. Снижается показатель рН до 4,2, в контроле — 6,5.

В подстилке и гумусо-аккумулятивном горизонте происходит накопление ТМ Cu, Zn, Pb, Fe и Cd, что прослеживается на расстоянии до 10 км от комбината «Карабашмедь». Содержание ТМ уменьшается с глубиной по профилю почвы и с удалением от источника выбросов. Среди ТМ доминируют Cu, Zn, Pb. Происходит подкисление верхних горизонтов почвы — рН до 4,7...5,0. В зоне сильного загрязнения в подстилке Cu и Zn накапливается до 1,3...1,5 г/кг почвы, Pb — до 1 г/кг. На крутых склонах наблюдается эрозия почвы и отсутствие растительности.

Установлено негативное воздействие аэротехногенных выбросов АО «Карабашмедь» на лесные насаждения Государственные земли лесного фонда на расстоянии до 10 км в северном и северо-восточном направлениях от г. Карабаш:

На расстоянии до 5 км от источника выбросов древостои березы повреждены в различной степени. Здоровые деревья не обнаружены, доминируют средне-поврежденные.

В северном направлении в 4 и 5 км от комбината происходит достоверное снижение средних высот деревьев, разница по сравнению с фоном составляет 2,15...3,35 м.

Работа выполнена в рамках государственного задания Ботанического сада Уральского отделения Российской академии наук.

- [1] Колесников Б.П. Леса Челябинской области // Леса СССР. М.: Наука, 1969. С. 125–156.
- [2] Коротеева Е.В., Вейсберг Е.И., Куянцова Н.Б. Оценка состояния ценофлоры в зоне воздействия Карабашского медеплавильного комбината (Южный Урал) // Известия Самарского научного центра РАН, 2011. Т. 13. № 1–4. С. 1005–1011.
- [3] Меншиков С.Л., Ившин А.П. Закономерности трансформации предтундровых и таежных лесов в условиях аэротехногенного загрязнения. Екатеринбург: Уральское отделение РАН, 2006. 294 с.
- [4] Агиков И.Н. Биоиндикация воздействия аэротехногенных поллютантов цветной металлургии на сосну обыкновенную как показатель состояния лесных экосистем // Экология и промышленность России, 2011. № 7. С. 26–28.
- [5] Бачурина А.В. Влияние аэропромвыбросов ЗАО «Карабашмедь» на таксационные показатели и санитарное состояние сосновых и березовых древостоев // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2007. Вып. 181. С. 35–40.
- [6] Бачурина А.В. Влияние промышленных поллютантов ЗАО «Карабашмедь» на состояние прилегающих лесных насаждений // автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Екатеринбург: УГЛТУ, 2008. 21 с.
- [7] Залесов С.В., Бачурина А.В. Изменение морфометрических показателей хвои сосны обыкновенной в условиях аэропромвыбросов // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2008. № 3. С. 36–38.
- [8] Усольцев В.А., Воробейчик Е.Л., Бергман И.Е., Трубина М.Р., Бачурина А.В. Структура фитомассы нижнего лесного яруса вблизи медеплавильных заводов Урала (Biomass structure of forest understory near copper smelters on the Ural) // Леса России и хозяйство в них, 2011. № 4 (41). С. 37–44.
- [9] Комплексный доклад о состоянии окружающей среды Челябинской области в 2012 году. Челябинск: Министерство по радиации и экологической безопасности Челябинской области, 2013. 232 с.
- [10] Доклад об экологической ситуации в Челябинской области в 2017 году. Челябинск: Министерство экологии Челябинской области, 2018. 144 с.
- [11] Доклад об экологической ситуации в Челябинской области в 2018 году. Челябинск: Министерство экологии Челябинской области, 2019. 179 с.
- [12] Янченко Н.И., Баранов А.Н., Ершов В.А., Тимкина Е.В. Изменение рН и электропроводность снежного покрова Братска // Экология и рациональное природопользование, 2014. № 3(23). С. 190–192.
- [13] Соединения микроэлементов в почвах: системная организация, экологическое значение, мониторинг / под ред. Г.В. Мотузова. М.: Эдиториал УРСС, 1999. 168 с.
- [14] Гончарова И.А., Скрипальщикова Л.Н., Барченков А.П., Шушпанов А.С. Оценка компонентов нижних ярусов растительного покрова в антропогенно нарушенных березняках Красноярской лесостепи // ИВУЗ Лесной журнал, 2020. № 1. С. 75–87. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-1-75-87
- [15] Черных В. Л., Черных Л. В., Черных Д. В. Математические модели продуктивности древостоев сосны, ели, березы, осины и липы Горного Урала // Леса Евразии — Сербские леса: Материалы XVIII Междунар. конф. молодых ученых, посвященной академику профессору Жарку Милетичу (1891–1968), 23–29 сентября 2018 г. Белград: Лесной факультет Белградского университета, 2019. С. 75–82.

- [16] 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
- [17] Веселкин Д.В., Куянцева Н.Б., Чащина О.Е., Коротеева Е.В. Влияние выбросов Карабашского медеплавильного комбината (Южный Урал) на размер и флуктуирующую асимметрию листа подростка *Betula pendula* (Betulaceae) // Растительные ресурсы, 2016. Т. 56. № 1. С. 109–124.
- [18] ГОСТ 17.4.4.02.84 Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. М.: Изд-во стандартов, 1984. 6 с.
- [19] ГОСТ 26423–85 Методы определения удельной электрической проводимости, рН и плотного остатка водной вытяжки. М.: Изд-во стандартов, 1985. 6 с.
- [20] РД 52.18.289–90 Руководящий документ. Методические указания. Методика выполнения измерений массовой доли подвижных форм металлов в пробах почвы атомно-абсорбционным анализом. М., 1990. 36 с.
- [21] ГОСТ 12.1.007–76. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности. М.: Изд-во стандартов, 1976. 6 с.
- [22] ПНД Ф 14.1:2:4.139–98 Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовых концентраций железа, кобальта, марганца, меди, никеля, серебра, хрома и цинка в пробах питьевых, природных и сточных вод методом атомно-абсорбционной спектроскопии. М., 1998. 24 с.
- [23] РД 52.04.186-89 Руководящий документ. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. М., 1991. 693 с.
- [24] Кузнецов А.М., Фесюн А.П., Самохвалов С.Г., Махонька Э.П. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельскохозяйственной и продуктивной растениеводства. М.: ЦИНАО, 1992. 61 с.
- [25] Алексеев В.А. Некоторые вопросы диагностики и классификации поврежденных загрязнением лесных экосистем // Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение. Л.: Наука, 1990. С. 8–54.
- [26] Бойко А.А. Дендрозоологическая характеристика березы повислой в условиях смешанного типа загрязнения окружающей среды Уфимского промышленного центра: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Уфа, 2005. 24 с.
- [27] Фирсова В.П., Павлова Т.С. Почвенные условия и особенности биологического круговорота веществ в горных сосновых лесах. М.: Наука, 166 с.
- [28] Рыкус М.В., Сначев В.И., Кузнецов Н.С., Савельев Д.Е., Бажин Е.А., Сначев А.В. Рудоносность дунит-гарцбургитовой и черносланцевой формаций пограничной зоны между Южным и Средним Уралом // Геология и геофизика. Нефтегазовое дело, 2009. Т. 7, № 2. С. 17–27.

Сведения об авторах

Кузьмина Надежда Александровна — мл. науч. сотр. ФГБУН «Ботанический сад Уральского отделения РАН», arkaya05@mail.ru

Мохначев Павел Евгеньевич — мл. науч. сотр. ФГБУН «Ботанический сад Уральского отделения РАН», mohnachev74@mail.ru

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

Поступила в редакцию 10.08.2020.

Принята к публикации 25.09.2020.

ACCUMULATION OF HEAVY METALS IN SNOW WATER, SOIL AND THE STATE OF BIRCH STANDS IN CONDITIONS OF TECHNOGENIC POLLUTION

N.A. Kuz'mina, P.E. Mokhnachev, S.L. Menshchikov

Russian Academy of Sciences, Ural Branch: Institute Botanic Garden, 32 a, Bilimbaevskaya st., 620144, Yekaterinburg, Russia
yarkaya05@mail.ru

The results of research of snow cover, soil and condition of birch stands under the influence of aerotechnogenic emissions from JSC «Karabashmed», which pollute the environment and change it for more than 100 years. It was revealed that as the source of pollution is approached, the pH of snow water decreases, the mass of dry residue and the content of suspended solids significantly increase. The excess of heavy metals within a radius of 5 km from the plant in snow water was established, compared to the background by tens of times. Here, in some places, the absence of a ground cover was found. Atmospheric precipitation partially sorbs on itself the pollutants contained in the airborne industrial emissions of the enterprise, and directly gets into the snow cover and soil. The results of studying the level of pollution of snow and soil make it possible to assess the state of forest ecosystems. A strong quality of metals on the earth's surface was revealed by analyzing the chemical composition of the sediments, a series was determined in decreasing order: Fe > Zn > Cu > Pb > Mn > Cd > Ni 1 km from the plant. One of the main pollutants is iron, zinc, copper is contained in ore slags in the form of pyrite, magnetite and enters the atmosphere during processing with dust emissions, then adsorbs or dissolves and enters with snow, polluting the soil cover. Under background conditions (24 km) with snowfall, Fe, Zn, and Cu were received less by 95 % than under impact zones near the source (1 km). A significant excess of the content of heavy metals, such as Cu, Zn, Pb, Fe and Cd, in the forest litter and in the upper soil horizons in the zone of strong pollution was determined. A decrease in the Fe content down the soil profile in the zone of strong pollution was found, and in the background — an increase with depth. The indirect (through the soil) and direct negative impact of gases (sulfur dioxide, formaldehyde vapor and hydrogen fluoride) and dust emissions from the plant on the state of birch stands was established, which determines an increase in defoliation, an average damage index, as well as a decrease in the average height of trees

Keywords: birch *Betula pendula* Roth., aerotechnogenic pollution, snowy water, heavy metals, soil, stand assessment, tax indicators, defoliation, status category

Suggested citation: Kuz'mina N.A., Mokhnachev P.E., Menshchikov S.L. *Akkumulyatsiya tyazhelykh metallov v snegovoy vode, pochve i sostoyaniye berezovykh drevostoev v usloviyakh tekhnogenogo zagryazneniya* [Accumulation of heavy metals in snow water, soil and the state of birch stands in conditions of technogenic pollution] *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 6, pp. 73–82. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-6-73-82

References

- [1] Kolesnikov B.P. *Lesa Chelyabinskoy oblasti* [Forests of the Chelyabinsk region]. *Lesa SSSR* [Forests of the USSR]. Moscow: Nauka, 1969, pp. 125–156.
- [2] Koroteeva E.V., Veisberg E.I., Kuyantseva N.B. *Otsenka sostoyaniya tsenoflory v zone vozdeystviya Karabashsogo medeplavil'nogo kombinata (Yuzhnyy Ural)* [Assessment of the state of cenoflora in the impact zone of the Karabash copper smelting plant (southern Ural)]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN* [Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2011, t. 13, no. 1–4, pp. 1005–1011.
- [3] Menshchikov S.L., Ivshin A.P. *Zakonomernosti transformatsii predtundrovyykh Itayozhnykh lesov v usloviyakh aerotekhnogenogo zagryazneniya* [Regularities of transformation of pre-tundra and taiga forests in conditions of aerotechnogenic pollution]. Yekaterinburg: Ural branch of the Russian Academy of Sciences, 2006, 294 p.
- [4] Agikov I.N. *Bioindikatsiya vozdeystviya aerotekhnogenykh poiutantov zvetnoy metallurgii na sosnu obyknovennuyu, kak pokazatel' sostoyaniya lesnykh ekosistem* [Bioindication of the impact of aerotechnogenic pollutants of non-ferrous metallurgy on common pine, as an indicator of the state of forest ecosystems. *Ekologiya i promyshlennost'* [Ecology and industry of Russia], 2011, no. 7, pp. 26–28.
- [5] Bachurina A.V. *Vliyanie aeropromyvbrosov ZAO «Karabashmed» na taksazyonnye pokazateli i sanitarnoe sostoyanie sosnovykh i berezovykh drevostoev* [Influence of aeropromyvbros of CJSC «Karabashmed» on tax indicators and sanitary condition of pine and birch stands]. *Izvestiya Sankt-peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [Izvestia of the Saint Petersburg forestry Academy], 2007, iss. 181, pp. 35–40.
- [6] Bachurina A.V. *Vliyanie promyshlennykh polyutantov ZAO «Karabashmed» na sostoyanie prilegayushchikh lesnykh nasazhdeniy* [Influence of industrial pollutants of CJSC «Karabashmed» on the state of adjacent forest stands]. *Diss. Cand. Sci. (Agric.)*. Yekaterinburg: Ural State Forestry University, 2008, 21 p.
- [7] Zalesov S.V., Bachurina A.V. *Izmenenie morfometricheskikh pokazateley khvoi sosny obyknovennoy v usloviyakh aeropromyvbrosov* [Change in morphometric indicators of pine needles in the conditions of aeropromyvbros]. *Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik*, 2008, no. 3, pp. 36–38.
- [8] Usoltsev V.A., Vorobeichik E.L., Bergman I.E., Trubina M.R., Bachurina A.V. *Struktura fitomassy nizhnego lesnogo yarusa vblizi medeplavil'nykh zavodov Urala* [Biomass structure of forest understory near copper smelters on the Ural]. *Lesa Rossii i khozyaystvo v nikh* [Russian forests and forestry in], 2011, no. 4 (41), pp. 37–44.
- [9] *Kompleksnyy doklad o sostoyanii okruzhayushchey sredy Chelyabinskoy oblasti* [Comprehensive report on the state of the environment of the Chelyabinsk region in 2012]. Chelyabinsk: Ministry of radiation and environmental safety of the Chelyabinsk region, 2013, 232 p.
- [10] *Doklad ob ekologicheskoy situatsii v Chelyabinskoy oblasti v 2017* [Report on the environmental situation in the Chelyabinsk region in 2017]. Chelyabinsk: Ministry of ecology of the Chelyabinsk region, 2018, 144 p.

- [11] *Doklad ob ekologicheskoy situacii v Chelyabinskoy oblasti v 2018* [Report on the environmental situation in the Chelyabinsk region in 2018]. Chelyabinsk: Ministry of ecology of the Chelyabinsk region, 2019, 179 p.
- [12] Yanchenko N.I., Baranov A.N., Yershov V.A., Timkina E.V. *Izmenenie pH i elektroprovodimosti snezhnogo pokrova Bratska* [Change in the pH and electrical conductivity of the Bratsk snow cover]. *Ekologiya i ratsional'noe prirodopol'zovanie* [Ecology and rational nature management], 2014, no. 3(23), pp. 190–192.
- [13] Motuzov G.V. *Soedinenie mikroelementov v pochve: sistemnaya organizatsiya, ekologicheskoe znachenie, monitoring* [Compounds of microelements in soils: system organization, ecological significance, monitoring]. Moscow: Editorial URSS, 1999, 168 p.
- [14] Goncharova I.A., Skripalschikova L.N., Barchenkov A.P., Shushpanov A.S. *Otsenka komponentov nizhnikh yarusov rastitel'nogo pokrova v antropogenno narushennykh bereznyakakh Krasnoyarskoy lesostepi* [Understorey vegetation cover components assessment in anthropogenically disturbed birch stands of Krasnoyarsk forest-steppe]. *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2020, no. 1, pp. 75–87. DOI:10.37482/0536-1036-2020-1-75-87
- [15] Chernykh V.L., Chernykh L.V., Chernykh D.V. *Matematicheskie modeli produktivnosti drevostoev sosny, eli, beryozy, osiny i lipy Gornogo Urala* [Mathematical models of productivity of stands of pine, spruce, birch, aspen and Linden of the Mountain Urals]. Forests of Eurasia-Serbian forests: Materials of the XVIII International conference of young scientists dedicated to academician Professor Zhark Miletich (1891–1968) Belgrade: Forest faculty of the University of Belgrade, 2019, pp. 75–82.
- [16] 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
- [17] Veselkin D.V., Kuyantseva N.B., Chashchina O.E., Koroteeva E.V. *Vliyanie vybrosov Karabashskogo medeplavil'nogo kombinata (Yuzhnyy Ural) na razmer i fluktuiruyushchuyu asimmetriyu lista podrosta Betula pendula (Betulaceae)* [Impact of Karabash copper smelter emissions on leaf size and fluctuating asymmetry of *Betula pendula* (Betulaceae) undergrowth]. *Rastitel'nye resursy* [Plant resources], 2016, vol. 56, no. 1, pp. 109–124.
- [18] *GOST 17.4.4.02.84 Pochva*. [State standard 17.4.4.02.84. Soil. Methods of selection and preparation of samples for chemical, bacteriological, helminthological analysis]. Moscow: Publishing house of standards, 1984, 6 p.
- [19] *GOST 26423–85* [Methods for determining the specific electrical conductivity, pH and dense residue of water extract]. Moscow: Publishing house of standards, 1985, 6 p.
- [20] *RD 52.18.289–90* [Guidance document. Methodical instructions. Method of performing measurements of the mass fraction of mobile forms of metals in soil samples by atomic absorption analysis]. Moscow, 1990, 36 p.
- [21] *GOST 12.1007–76 Vrednye veshchestva. Klassifikatsiya i obshchie trebovaniya bezopasnosti* [Harmful substances. Classification and general safety requirements]. Moscow: Izd-vo standartov [Publishing house of standards], 1976, 6 p.
- [22] *PND F 14.1: 2: 4.139–98 Kolichestvennyy khimicheskyy analiz vod. Metodika vypolneniya izmereniy massovykh kontsentratsiy zheleza, kobal'ta, margantsa, medi, nikelya, srebra, khroma i tsinka v probakh pit'evykh, prirodnykh i stochnykh vod metodom atomno-absorbtsionnoy spektrometrii* [Quantitative chemical analysis of waters. Methods for performing measurements of mass concentrations of iron, cobalt, manganese, copper, nickel, silver, chromium and zinc in samples of drinking, natural and waste water by atomic absorption spectrometry]. Moscow: Gosudarstvennyy komitet rossiyskoy federatsii po okhrane okruzhayushchey sredy [State Committee of the Russian Federation for Environmental Protection], 1998, 24 p.
- [23] *RD 52.04.186–89* [Guidance document. Guidelines for the control of atmospheric pollution]. Moscow, 1991, 693 p.
- [24] Kuznetsov A.M., Fesyun A.P., Samokhvalov S.G., Makhon'ka E.P. *Metodicheskie ukazaniya po opredeleniyu tyazhelykh metallov v pochvakh sel'khozogodiy i produktivnykh rastenievodstva* [Methodical instructions for the determination of heavy metals in agricultural soils and crop production]. Moscow: TsINAO, 1992, 61 p.
- [25] Alekseev V.A. *Nekotorye voprosy diagnostiki i klassifikatsii povrezhdennykh pagryaznenniem lesnykh ekosistem* [Some questions of diagnostics and classification of forest ecosystems damaged by pollution. Forest ecosystems and atmospheric pollution]. Leningrad: Nauka, 1990, pp. 8–54.
- [26] Boyko A.A. *Dendrologicheskaya kharakteristika breezy poyavivshiesya v usloviyakh smeschannogo tipa zagryazneniy okruzhayushchey sredy Ufimskogo promyshlennogo tsentra* [Dendroecological characteristics of the hanging birch in conditions of mixed type of environmental pollution of the Ufa industrial center]. Diss. Cand. Sci. (Biology). Ufa, 2005, 24 p.
- [27] Firsova V.P., Pavlova T.S. *Pochvennye usloviya i osobennosti biologicheskogo krugovorota veshchestv v gornykh sosnovykh lesakh* [Soil conditions and features of the biological cycle of substances in mountain pine forests]. Moscow: Nauka, 166 p.
- [28] Rykus M.V., Snachev V.I., Kuznetsov N.S., Savelev D.E., Bazhin E.A., Snachev A.V. *Rudonosnost' dunit-gartsburgitovoy i chernoslanitsevoy formatsiy pogranichnoy zony mezdu Yuzhnyim i Srednim Uralom* [Ore content of dunite-harzburgite and black-shale formations of the border zone between the Southern and Middle Urals]. *Geology and Geophysics. Oil and gas business*, 2009, t. 7, no. 2, pp. 17–27.

Authors' information

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, mohnachev74@mail.ru

Menshchikov Sergey Leonidovich — Dr. Sci. (Agriculture), Head of Laboratory, Forest Department, Russian Academy of Sciences, Ural Branch: Institute Botanic Garden, msl@botgard.uran.ru

Received 10.08.2020.

Accepted for publication 25.09.2020.

ПОСЛЕДСТВИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИДОРОЖНЫХ ТЕРРИТОРИЙ КОМПОНЕНТАМИ СОЛЕВЫХ РЕАГЕНТОВ НА ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЧВЫ И РАСТЕНИЙ В ЛЕСНЫХ БИОГЕОЦЕНОЗАХ

А.В. Судник, И.П. Вознячук

Государственное научное учреждение «Институт экспериментальной ботаники им. В.Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси», 220072, Республика Беларусь, г. Минск, ул. Академическая, д. 27

asudnik@tut.by

Установлена основная причина ухудшения состояния придорожных насаждений в Беларуси — техногенное загрязнение почв и растений используемыми в зимний период компонентами противогололедных реагентов, произведенными на основе хлорида натрия. С учетом высокого содержания ионов натрия и хлора в почве, растениях и общих тенденций территориального распределения подтвержден тезис об автодорогах как источнике поступления загрязняющих веществ в природные экосистемы. Установлена прямая зависимость загрязнения почвы и растений придорожных насаждений от интенсивности движения. Загрязнение лесных биогенозов прослеживается не менее чем на 300 м от дорожного полотна, максимальное — на опушках и в полосе до 35 м от полотна дороги. Отмечена тенденция увеличения содержания хлоридов в почве относительно данных десятилетней давности. Охарактеризованы последствия воздействия загрязнения придорожных территорий ионами натрия и хлора на экологическое состояние почвы и растений лесных биогенозов. При сохранении существующего режима обслуживания дорог в зимний период сохраняется угроза достижения порога токсичности для растений, который может вызвать угнетение роста и развития растений. По результатам анализа солеустойчивости дикорастущих и культивируемых видов деревьев и кустарников, используемых при озеленении дорог и населенных пунктов в Беларуси (221 вид), подобран ассортимент древесно-кустарниковых растений, устойчивых к загрязнению противогололедными реагентами.

Ключевые слова: автомобильная дорога, придорожная территория, противогололедные реагенты (ПГР), загрязнение, ионы натрия (Na^+) и хлора (Cl^-), состояние

Ссылка для цитирования: Судник А.В., Вознячук И.П. Последствия воздействия загрязнения придорожных территорий компонентами солевых реагентов на экологическое состояние почвы и растений в лесных биогенозах // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 6. С. 83–95. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-6-83-95

Географическое положение Республики Беларусь, наличие современных мультимодальных транспортных коридоров, развитие экспорта транспортных услуг являются важными составляющими стабильного развития ее экономики. В связи с этим проблема последствий воздействия автомагистралей на придорожные экосистемы приобретает актуальность, особенно с учетом роста парка автотранспорта, развития инфраструктуры дорог, изменения технологий их содержания. Эксплуатация и технологии содержания автодорог оказывают немалое влияние на экологическое состояние придорожных природно-растительных комплексов.

Эксплуатация и содержание автомобильных дорог способствует загрязнению придорожных территорий следующими комплексами элементов: компонентами противогололедных реагентов (ПГР); выбросами от автотранспорта в атмосферу; продуктами выветривания дорожных материалов, частицами металлов, красок, перевозимых грузов, горюче-смазочными материалами и пр. [1]. Экологическим бедствием для придорожных экосистем является мусор, происхождение которого связано

с безответственностью людей — участников дорожного движения. Как правило, загрязнение экосистем вдоль дорог носит комплексный характер, поскольку этот процесс состоит из прямого влияния выбросов транспорта в атмосферу, последствий эксплуатации и содержания дорог, экологической ситуации в регионе и т. д. Фитоценозы как аккумуляторы и своего рода биологические фильтры, способны связывать, трансформировать и локализовывать в определенных частях биогенозов некоторые из загрязняющих веществ [2].

В Республике Беларусь в качестве ПГР используется соль техническая — галит, которая на 96–98 % состоит из хлорида натрия (NaCl) в чистом виде или в смеси с песком (преимущественно в соотношении 1:1). При этом на отдельных участках автодорог нормы внесения ПГР превышены в 2 раза и более [3]. Использование хлорида натрия в качестве ПГР, в особенности с превышением допустимых норм концентрации, в сочетании с другими негативными факторами, как связанными, так и не связанными с эксплуатацией дорог, неизбежно ведет к ослаблению и деградации придорожных экосистем [4].

Солевые компоненты ПГР (ионы натрия и хлора) в больших концентрациях токсичны для всех компонентов биогеоценозов [5]. Их внедрение в бицикл придорожных насаждений происходит непосредственно при уборке снега и/или при попадании на кроны деревьев в виде аэрозолей при движении транспорта. На поверхность деревьев и кустарников соль попадает в результате разбрызгивания автомобилями талых вод и мокрого снега с растворами и кристаллами солей. Турбулентные потоки воздуха, создаваемые движущимся автотранспортом, способствуют распространению водно-солевых аэрозолей вверх в приземный слой воздуха, и их оседанию на хвое и побегах деревьев. Большую часть таких веществ смывают осадки, и они попадают в почву, вызывая ее засоление [3, 6, 7].

Для оценки состояния природной среды и последствий эксплуатации дорог с различным уровнем транспортной нагрузки необходимо иметь представление о миграции и аккумуляции загрязнителей в природных средах придорожных территорий. Загрязнители, включаясь в природные миграционные потоки, перераспределяются в природных компонентах и способны в будущем придать новые черты ландшафтно-геохимической обстановке, не только отличающие ее от фоновой, но и усугубляющие последствия влияния дорог.

Цель работы

Цель работы — оценить последствия влияния загрязнения придорожных территорий компонентами солевых реагентов на экологическое состояние почвы и растений в лесных биогеоценозах

Объекты и методы исследований

В систему объектов исследования вошли выборочные участки магистральных автомобильных дорог: М1/Е30 Брест (Козловичи) — Минск — граница Российской Федерации (Редьки); М3 (Минск — Витебск); М9 (Минская кольцевая автомобильная дорога — МКАД). Для исследования загрязнения придорожных территорий компонентами ПГР проводился отбор образцов почвы (два слоя: 0...10 см и 10...20 см), лесной подстилки и зеленых мхов на расстоянии 5, 10, 20, 35, 150 и 250 м от МКАД. Всего отобрано 192 образца. Отбор осуществлялся раздельно на участках прохождения дороги в выемке, насыпи и в нулевых отметках в соответствии с руководством [8].

Химический анализ образцов проводился центральной лабораторией филиала РУП «Белгеология» на загрязнение компонентами ПГР (ионами натрия и хлора). Кроме того, в ГУ «Республиканский центр радиационного контроля и мониторинга окружающей среды» получены данные о загрязнении ионами хлора снежного покрова вдоль автодорог на территории Беларуси.

В основу исследований положена методика мониторинга защитных древесных насаждений [9]. Оценка состояния деревьев и древостоев проводилась на основе общеевропейской методики экологического лесного мониторинга, изложенной в руководстве [10]. Оценка жизненного состояния деревьев проводилась на основе правил [11]. Отнесение насаждений к категориям жизненного состояния осуществлено по модифицированной шкале В.А. Алексеева [12]. Для сравнения состояния различных древесных пород вдоль автодорог проанализированы данные мониторинга защитных древесных насаждений за 2004–2019 гг. [13].

Результаты и их обсуждение

Степень загрязнения придорожных территорий хлоридами. Солевое загрязнение придорожных биогеоценозов является следствием применения на автодорогах ПГР для борьбы с гололедицей, на 95...98 % состоящих из хлорида натрия, а оставшиеся 2...5 % приходятся на примеси — нитраты, фосфаты, сульфаты натрия, кальция и т. д. В результате снегоуборочных работ указанные соли, с дорожными стоками и при воздушно-капельном переносе поступают в окружающую среду. Весной часть из них, аккумулятивная в снеге, удаляется с талым стоком, оставшаяся — засоляет почвы. В теплый период года, по мере промывания атмосферными осадками, уровень засоления снижается, достигая минимума к началу осени.

По геохимической классификации, хлор относится к очень подвижным водным мигрантам, для которых характерно образование легкорастворимых солей, энергично мигрирующих в ландшафте [14]. Хлор не образует труднорастворимых минералов, не адсорбируется коллоидными системами, не накапливается биогенным путем и поэтому обладает очень высокой миграционной способностью. Хлор является очень активным химическим элементом, способным непосредственно соединяться почти со всеми элементами Периодической системы химических элементов Д.И. Менделеева (за исключением кислорода, азота, углерода и иридия), поэтому в природе он встречается только в виде соединений [15]. Хлор имеет важное физиологическое значение и содержится в живых организмах в виде соляной кислоты (HCl), ее солей, среди которых наиболее распространен хлорид натрия, а также разнообразных хлорорганических соединений. Он относится к необходимым элементам питания растений и по содержанию представляет собой макроэлемент, но организмы в большинстве случаев обеспечены хлором и потребность в нем растения испытывают лишь в небольших количествах [16].

Т а б л и ц а 1

**Содержание ионов натрия и хлора в компонентах лесных биогеоценозов
вдоль автодорог на расстоянии до 300 м от опушки вглубь лесного массива**
The content of sodium and chlorine ions in the components of forest biogeocenosis along the roads
at a distance of up to 300 m from the edge of the forest

Параметр рядов распределения	Ионы хлора (Cl ⁻)				Ионы натрия (Na ⁺)			
	Мхи	Лесная подстилка	Почва		Мхи	Лесная подстилка	Почва	
			0...10 см	10...20 см			0...10 см	10...20 см
Автодорога М1/Е30								
Среднее ± стандартная ошибка	919,9 ± 89,73	182,1 ± 18,83	60,5 ± 7,54	46,9 ± 6,82	127,6 ± 18,10	40,2 ± 9,13	50,6 ± 9,49	37,8 ± 9,04
Минимум	431,4	117,7	19,6	19,6	78,0	10,0	3,3	2,5
Максимум	1451,1	323,6	205,9	215,7	266,4	107,1	216,13	218,5
Экссесс	-0,49	-0,21	5,69	14,80	1,94	-0,48	2,38	5,34
Асимметрич- ность	0,04	1,07	2,26	3,52	1,55	1,09	1,48	2,21
Коэффициент вариации	32,4	38,7	68,3	79,6	47,1	85,1	102,7	130,8
Автодорога М3								
Среднее ± стандартная ошибка	1068,7 ± 9,81	264,7 ± 31,26	62,9 ± 10,00	94,0 ± 43,12	159,0 ± 64,14	50,5 ± 30,44	46,2 ± 21,57	72,6 ± 47,53
Минимум	1039,3	215,7	34,3	29,4	65,0	10,0	5,0	5,0
Максимум	1078,5	353,0	88,3	304,0	347,8	138,8	144,5	305,3
Экссесс	4,00	1,50	-2,99	4,89	3,29	2,51	2,69	5,12
Асиммет- ричность	-2,00	1,39	-0,07	2,19	1,78	1,63	1,63	2,23
Коэффициент вариации	1,8	23,6	38,9	112,4	80,7	120,5	114,4	160,4
Автодорога М9								
Среднее ± стандартная ошибка	1533,0 ± 221,22	149,1 ± 10,24	47,4 ± 3,83	41,3 ± 3,64	1217,0 ± 664,22	123,9 ± 24,67	33,9 ± 13,99	16,5 ± 3,62
Минимум	490,3	58,8	34,3	24,5	32,4	10,0	5,0	5,0
Максимум	5569,2	254,9	78,4	63,7	4376,4	495,0	174,3	46,3
Экссесс	9,45	-0,43	2,06	-0,90	18,73	2,56	7,22	1,71
Асимметрич- ность	2,69	0,27	1,58	0,56	4,22	1,59	2,62	1,38
Коэффициент вариации	69,2	33,6	28,0	30,6	261,8	97,6	143,2	75,9
По всем автодорогам								
Среднее ± стандартная ошибка	1306,6 ± 142,87	171,1 ± 10,29	57,5 ± 4,98	51,4 ± 7,00	790,2 ± 407,91	89,0 ± 15,82	45,8 ± 7,31	36,9 ± 8,24
Минимум	431,4	58,8	19,6	19,6	32,4	10,0	3,3	2,5
Максимум	5569,2	353,0	205,9	304,0	4376,4	495,0	216,1	305,3
Экссесс	14,76	0,46	8,28	17,83	31,08	5,39	2,27	11,48
Асимметрич- ность	3,34	0,87	2,57	3,99	5,43	2,16	1,60	3,17
Коэффициент вариации	67,4	39,0	60,0	94,4	318,2	115,2	110,4	154,9
<i>Примечание.</i> Полу жирным шрифтом выделены значения статистик распределения достоверно отличающихся от 0 при P = 0,95								

Т а б л и ц а 2

**Содержание хлоридов (мг/кг сухого вещества) в почве лесных биогеоценозов
на различном удалении от дорожного полотна**

Chloride content (mg/kg dry matter) in the soil of forest biogeocenosis at various distances from the roadway

Параметр рядов распределения	Расстояние от дорожного полотна, м					
	5	10	20	35	150	300
Ионы хлора Cl ⁻						
Среднее ± стандартная ошибка	69,9 ± 16,90	58,2 ± 11,41	58,2 ± 6,82	52,1 ± 8,67	49,0 ± 10,93	39,2 ± 2,49
Минимум	19,61	24,51	24,51	24,51	19,61	24,51
Максимум	303,96	215,71	107,86	171,59	205,91	58,83
Экссесс	10,76	10,52	-1,03	10,52	12,89	-0,41
Асимметричность	3,05	3,07	0,65	3,08	3,46	0,00
Коэффициент вариации	96,7	78,4	46,8	66,5	89,1	25,4
Ионы натрия Na ⁺						
Среднее ± стандартная ошибка	110,8 ± 16,90	61,2 ± 16,21	38,3 ± 5,99	18,0 ± 3,50	14,8 ± 5,67	5,0 ± 0,37
Минимум	18,5	11,1	5,4	3,34	2,5	2,5
Максимум	305,25	218,5	75	66,6	96,2	7,5
Экссесс	3,79	3,11	-1,43	10,96	12,88	-0,26
Асимметричность	1,54	2,01	0,32	3,04	3,48	0,00
Коэффициент вариации	61,0	106,0	62,6	77,7	153,2	29,8
<i>Примечание.</i> Полуужирным шрифтом выделены значения статистик распределения достоверно отличающихся от 0 при P = 0,95						

Хлор поступает в растения в виде иона — Cl⁻. Повышенные концентрации хлора токсичны для растений. Порог токсичности, т. е. предельное содержание хлора в почве составляет 100 мг/кг почвы, выше его начинается угнетение роста и развития растений [17, 18]. Отрицательное воздействие проявляется и в замедлении роста побегов, преждевременном опадении листьев и хвои, усыхании и гибели деревьев и кустарников, изменении видового состава фитоценоза. Избыток хлора отрицательно действует на ассимиляционную поверхность мохового покрова, вызывая его быстрое отмирание и угнетая рост оставшейся части. Увеличение содержания хлора в лесной подстилке и почве оказывает отрицательное воздействие на активность почвенной микрофлоры и вызывает ее частичную гибель, с чем связано уменьшение ферментативной активности лесной подстилки и почвы [19, 20].

Анализ загрязнения придорожных биогеоценозов показал, что наименьшая аккумуляция ионов хлора в компонентах лесных биогеоценозов происходит вдоль участка дороги М1, а наиболее загрязненные участки — дороги М9 (табл. 1). Значительное количество ионов хлора в лесных экосистемах аккумулируется зелеными мхами (в среднем 1306,6 мг/кг), наименьшее — почвами на глубине 10...20 см (в среднем 51,4 мг/кг). Распределение загрязнения в целом зависит от

расстояния от дорожного полотна и интенсивности нагрузки на транспортные магистрали. Так, в окрестности трассы М9 содержание ионов хлора в зеленых мхах в 1,7 раза превышает уровень по данному элементу в зеленых мхах у дороги М1 и в 1,4 раза вдоль дороги М3.

При этом четко проявляется пространственное загрязнение биогеоценозов ионами хлора (табл. 2). В окрестности автодорог М9 и М1 загрязнение хлоридами распространяется на расстояние до 35 м от дорожного полотна с наибольшим превышением от минимальных значений по всем компонентам биогеоценоза. Загрязнение вдоль дороги М1 выражено на всей 300-метровой полосе с превышениями предельно допустимых концентраций в среднем в 2,5 раза. Кроме того, загрязнение различных компонентов биогеоценоза ионами хлора в целом имеют схожую пространственную структуру загрязнения. Данный факт свидетельствует как об участии хлоридов техногенного происхождения в естественных миграционных потоках в системе почва — растение, так и о вовлечении его в биологический круговорот.

Анализ тенденции накопления ионов хлора в компонентах лесных биогеоценозов по сравнению с данными десятилетней давности показал, что на придорожных территориях характерно увеличение их аккумуляции в первую очередь

в почве. При отборе образцов через 10-летний период по единой схеме на участках вдоль дорог М9 и М1 выявлено увеличение содержания ионов хлора в почве в 3 раза на фоне хоть и незначительного, но уменьшения уровня их накопления в лесной подстилке и мхах благодаря увеличению поступления водорастворимых веществ, происходящему, главным образом, аэральным путем.

Обладая высокой растворимостью и подвижностью, натрий при достаточном увлажнении почв выносятся из них, а при недостаточном — легко накапливается в зоне испарения капиллярной влаги. Обменный натрий может оказывать исключительно отрицательное влияние на химические и физические свойства почв. Высокое содержание обменного натрия приводит к возможности образования соды (Na_2CO_3), ядовитого для высших форм растительности соединения. Обменный натрий способствует также развитию неблагоприятных физических свойств почв в силу его влияния на дисперсное состояние минеральных и органических соединений почвы. При содержании натрия в почвах в обменном состоянии больше 5...10 мг/100 г он сильно диспергирует почвы, обуславливая их высокую набухаемость и усадку [21].

По результатам анализа (см. табл. 1) вдоль автомагистралей М1, М3 и М9 отмечено значительное накопление катионов натрия. Наиболее интенсивное загрязнение натрием установлено в зеленых мхах на придорожных участках автодороги М9. Здесь он накапливается в среднем в количестве 1217,0 мг/кг, в 35-метровой полосе концентрация натрия превышает 130 мг/кг в 100 % образцов (в среднем 625,6 мг/кг), при этом максимальные значения достигают 4376,4 мг/кг в 5-метровой полосе. Содержание катионов натрия в зеленых мхах в окрестности автодороги М9 в 9,9 раза превышает его содержание у автодороги М1, в 7,6 раза — у автодороги М3 и в 46,5 раза — минимальные значения содержания данного элемента во мхах. Высокие концентрации натрия в лесной подстилке (от 10 до 495,0 мг/кг, в среднем — 89,0 мг/кг) наблюдаются на всем протяжении МКАД и приурочены преимущественно к 35-метровой полосе вдоль автодороги. Проникновение катионов натрия на глубину ограничено. Концентрации загрязнителей резко снижаются с глубиной. Так, содержание катионов натрия в верхнем органическом горизонте (0...10 см) составляет от 3,3 до 216,1 мг/кг, в среднем — 45,8 мг/кг, в горизонте 10...20 см — от 2,5 до 305,3 мг/кг, в среднем — 36,9 мг/кг (см. табл. 1). Высокое содержание обменного натрия в почве препятствует усвоению влаги растениями, ведет к нарушению физиолого-биохимических процессов и последующему ослаблению растений.

Загрязнение почв натрием отчетливо коррелирует с расстоянием — уменьшается по мере удаления от дорожного полотна (см. табл. 2). При этом значительная аккумуляция в почве ионов натрия и хлора распространяется на 300-метровое расстояние от любой автодороги. Максимальная концентрация фиксируется вдоль автомагистралей в опушечной полосе. Содержание ионов натрия на расстоянии 5 м от дорожного полотна варьирует от 18,5 до 305,3 мг/кг (в среднем — 112,3 мг/кг), в пределах 10-метровой полосы оно колеблется от 11,1 до 218,5 мг/кг (в среднем — 61,2 мг/кг). Максимальное загрязнение катионами натрия наблюдается вдоль автодороги М9. Его аккумуляция составляет от 7,4 в почвах до 4376,4 мг/кг во мхах (в среднем — 287,5 мг/кг). Максимальное превышение отмечается в почвах на глубине 10...20 см, что свидетельствует о миграции данного элемента в почвенном профиле.

Таким образом, следствием применения в зимний период на автодорогах в качестве ПГР хлорида натрия является значительное увеличение содержания ионов хлора и натрия в компонентах придорожных биогеоценозов. К кризисным, прежде всего, относятся участки, непосредственно прилегающие к дорожному полотну (до 5 м) и удаленные от него на расстояние до 35 м. Здесь отмечены основные превышения содержания по всем элементам. Загрязнение растительных сообществ прослеживается не менее чем на 300 м от дорожного полотна. При сохранении существующего режима обслуживания дорог в зимний период остро стоит угроза достижения порога токсичности для растений по содержанию ионов натрия и хлора, обуславливающих угнетение роста, развития и даже гибель растений.

Воздействие загрязнения солями на состояние почвы. Автомагистрали служат источником загрязнения почв, влияют на свойства эдафотопы путем изменения кислотных и ионообменных свойств органогенных горизонтов почв придорожных насаждений, изменения характера естественных миграционных потоков элементов в системе почва — растение, снижающего возможность усвоения влаги растениями [2, 7]. Применение хлорида натрия в качестве ПГР ведет к снижению кислотности и повышению щелочности почвенной среды (за счет накопления ионов натрия), увеличению содержания хлоридов до токсичных для растений концентраций, емкости катионного обмена, осмотического давления почвенного раствора и, в конечном итоге, к засолению почв. Использование ПГР на автодорогах и в связи с этим изменение некоторых природных факторов привели к деградации зонального подзолообразовательного процесса придорожных территорий и обусловили галогенез, т. е. засоление почв.

Действие засоления на растительные организмы заключается в ухудшении их водного баланса, обусловленного токсическим влиянием на них высоких концентраций солей. Засоление почв особенно опасно в пониженных участках придорожных территорий, куда стекают большие массы засоленных вод.

Отрицательное действие солей на растения имеет комплексный характер и включает в себя две составляющие: осмотическую и токсическую [22, 23]. Осмотическое действие проявляется в пониженном поглощении воды и неблагоприятном изменении водно-солевого обмена в клетках и тканях. Засоление приводит к созданию в почве низкого (резко отрицательного) водного потенциала, поэтому поступление воды в растение сильно затруднено. Дефицит воды в тканях, являющийся результатом осмотического действия солей, может усугубляться их токсичностью, когда ионы в избытке накапливаются в цитоплазме клеток. Визуальное проявление токсичности можно наблюдать по образованию некрозов на листьях и стеблях. Как правило, такой солевой эффект хорошо выражен при внезапном подъеме концентрации солей в среде. Повышение концентрации солей в почвенном растворе ведет к изменению осмотического давления и затрудняет поступление в растения воды и питательных веществ даже при наличии доступной влаги. В целом при высоком содержании солей в почве происходит подщелачивание среды, в результате чего изменяется система питания растений, становится затруднительным поступление питательных веществ в корни растений (так как вещества теряют подвижность, а при увеличении уровня минерализации почвенного раствора уменьшается осмотическое давление). Кроме того, высокое содержание натрия вызывает изменение структуры почвы. По мере увеличения содержания натрия в почве увеличивается риск диспергирования почвенных агрегатов, что препятствует движению воды и дренированию во всех видах почв, кроме песчаных. Таким образом, чрезмерное использование песчано-соляной смеси для борьбы с наледями приводит к тому, что остаточные количества ПГР скапливаются в почве, оказывая негативное влияние на состояние зеленых насаждений уже в период вегетации.

Изменение концентрации в почве отдельных ионов способствует их поступлению по стволам деревьев и накоплению в листьях. Под влиянием натриевых солей происходит нарушение ультраструктуры клеток, в частности изменяется структура хлоропластов. Вредное влияние высокой концентрации солей вызывает повреждение мембранных структур, вследствие чего возрастает их проницаемость, утрачивается способность

к избирательному накоплению веществ. В этом случае соли поступают в клетки пассивно вместе с транспирационным током воды. Большая концентрация натрия препятствует накоплению других катионов, в том числе и таких необходимых для жизни растения, как калий и кальций. Вредное действие солей проявляется в нарушении процессов обмена. В работе [24] показано, что под влиянием солей в растениях нарушается азотный обмен, накапливаются аммиак и другие ядовитые продукты.

Во внесении ПГР кроется причина не только засоления почв, но и формирования их солонцеватости — нового процесса для придорожных биогеоценозов. Подсолонцовывание почв происходит в результате периодической смены процессов засоления (ранней весной) и рассоления (летом). Вследствие этого содержание обменного натрия в почвах возрастает. По данным, полученным в Центральном ботаническом саду НАН Беларуси [5, 25], сезонная динамика накопления остаточных количеств ПГР в почве имеет два выраженных пика — в апреле и июле, глубина залегания ионов натрия в летний период опускается глубже 1 м. В условиях Беларуси этот процесс обстоятельно не изучен, а феномен формирования солонцеватых почв вдоль Московской кольцевой автомобильной дороги хорошо известен [28].

Воздействие соляного загрязнения на состояние растений. Степень загрязнения растительности аэральным путем определялась вывешиванием специальных адсорбирующих образцов на деревьях, произрастающих в опушечной полосе вдоль магистральной автодороги М9 [26]. В качестве образцов использовались сфагновые мхи, отобранные на территории местного биологического заказника «Ветеревичский» в Пуховичском районе Минской обл. Всего было проанализировано 29 образцов, из которых 24 находились под воздействием МКАД (по восемь образцов при положении дороги в выемке, в насыпи и в нуле), три образца располагались в глубине лесного массива на расстоянии более 400 м от источников воздействия (контроль воздействия), один образец находился в помещении без внешнего воздействия (контроль), один образец был помещен на балконе дома (воздушное загрязнение в городе). Образцы вывешивались в феврале на 20 сут. Анализы проводились на содержание ионов натрия и хлора в водных вытяжках образцов.

Статистическая обработка полученных данных показала, что концентрация всех анализируемых ионов в образцах вдоль автодороги существенно отличается от концентраций в контрольных образцах, расположенных в глубине лесного массива. На рис. 1 приведены результаты сравнительного анализа содержания хлоридов в образцах,

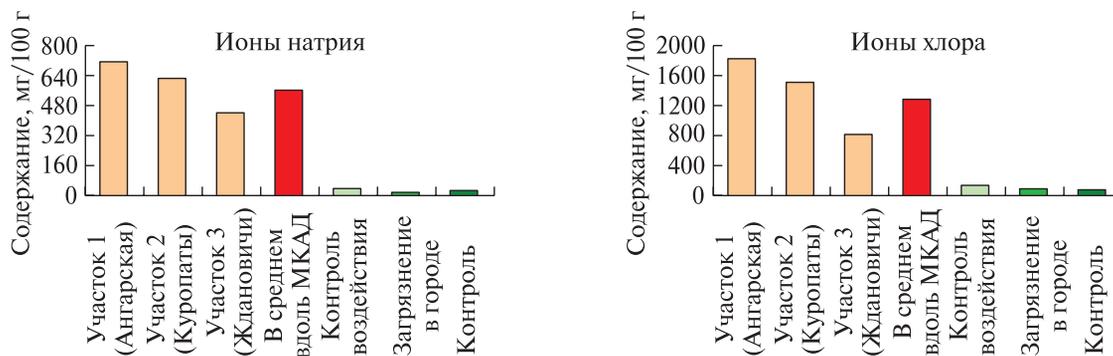


Рис. 1. Содержание ионов натрия и хлора в водных вытяжках в образцах, вывешенных на деревьях в различных районах вдоль МКАД, и в различных вариантах контроля

Fig. 1. The content of sodium and chlorine ions in water extracts in samples hung on trees in different areas along the Moscow Ring Road, and in various control options

подверженных воздействию воздушных загрязнителей от автодороги, и в контрольных образцах. Сравнение результатов анализов накопления воздушных загрязнителей в образцах, собранных с деревьев вдоль МКАД, с контрольными показало, что содержание ионов натрия и хлора в 22–25 раз превышает контрольные значения. Причем степень загрязнения фитотоксикантами зависит от положения опушечных деревьев относительно автодороги. Эта зависимость характеризуется отрицательными коэффициентами корреляции (–0,78 по натрию и –0,74 по хлору).

Как указано выше, на поверхность растущих деревьев компоненты ПГР попадают преимущественно аэральным путем. Осевшая на хвое и побегах соль вызывает закупоривание устьиц и ее обезвоживание, а при проникновении в ткани — повреждение растений. Нарушение работы ассимиляционного аппарата ведет к понижению интенсивности фотосинтеза, гибели побегов и задержке роста деревьев, что в конечном итоге выражается в угнетении общего состояния и ослаблении устойчивости древостоев к неблагоприятным факторам окружающей среды. Мелкодисперсные солевые частицы, осевшие на хвое и побегах растений, вызывают солевой ожог, изменение анатомической, морфологической структуры, уменьшение количества хлорофилла, изменение физиолого-биохимических показателей, признаками которых являются некрозы хвои и листьев различного характера, отставание в росте и развитии, преждевременное опадение листьев. Отличительной особенностью отрицательного воздействия ПГР на лиственные деревья и кустарники на придорожных территориях является повреждение вегетативных почек, а не листьев. Это приводит к образованию «розеточности» вегетативных побегов [7, 27].

Чем больше попадает хлоридов на побеги растений, тем заметнее возрастает концентрация хлора

в ассимиляционных органах, что замедляет протекание физиологических процессов и, прежде всего, снижает интенсивность фотосинтеза. Нарушение работы ассимиляционного аппарата ведет к гибели побегов и задержке роста деревьев, что выражается в угнетении общего состояния и ослаблении устойчивости к другим неблагоприятным факторам окружающей среды. Воздействие хлоридов проявляется в биохимических нарушениях процессов ассимиляции и метаболизма в клетках растений, отмирают ткани и блокируются проводящие пути, что приводит к ослаблению и гибели всего растения [28]. При содержании в листьях или хвое хлора свыше 1...2 % древесные растения погибают [16].

Наиболее поврежденными среди оцениваемых пород за 16 лет исследований оказались ольха черная, липа, ель и береза (индекс жизненного состояния древостоев в среднем за 2004–2019 гг. составил 48,39; 50,85; 56,48 и 57,08 % соответственно); менее других повреждены деревья с толстой корой и высоко поднятой кроной: клен, сосна, лиственница (68,75; 70,31 и 78,06 %) [13, 29, 30]. Низкое жизненное состояние ольхи черной объясняется ее приуроченностью к пониженным участкам, где дорога проходит, как правило, в насыпи, а также накоплением рассолов, стекающих в понижения. Липа и береза обладают низкой устойчивостью к воздействию ПГР, по-видимому, вследствие малой толщины коры одно-двухлетних побегов и чешуек на почках, не способных противодействовать проникновению хлоридов [29, 30]. В 2010, 2012 и 2017 гг. причиной повреждения березы стало не только воздействие соли, но и поздние весенние заморозки, сильно повредившие деревья. Более других пород оказывались поврежденными ели в снегозадерживающих полосах, мелкие деревья и подрост сосны, подлесок можжевельника (вплоть до полной гибели).

Для анализа изменений в анатомическом строении побегов были отобраны образцы на одно-

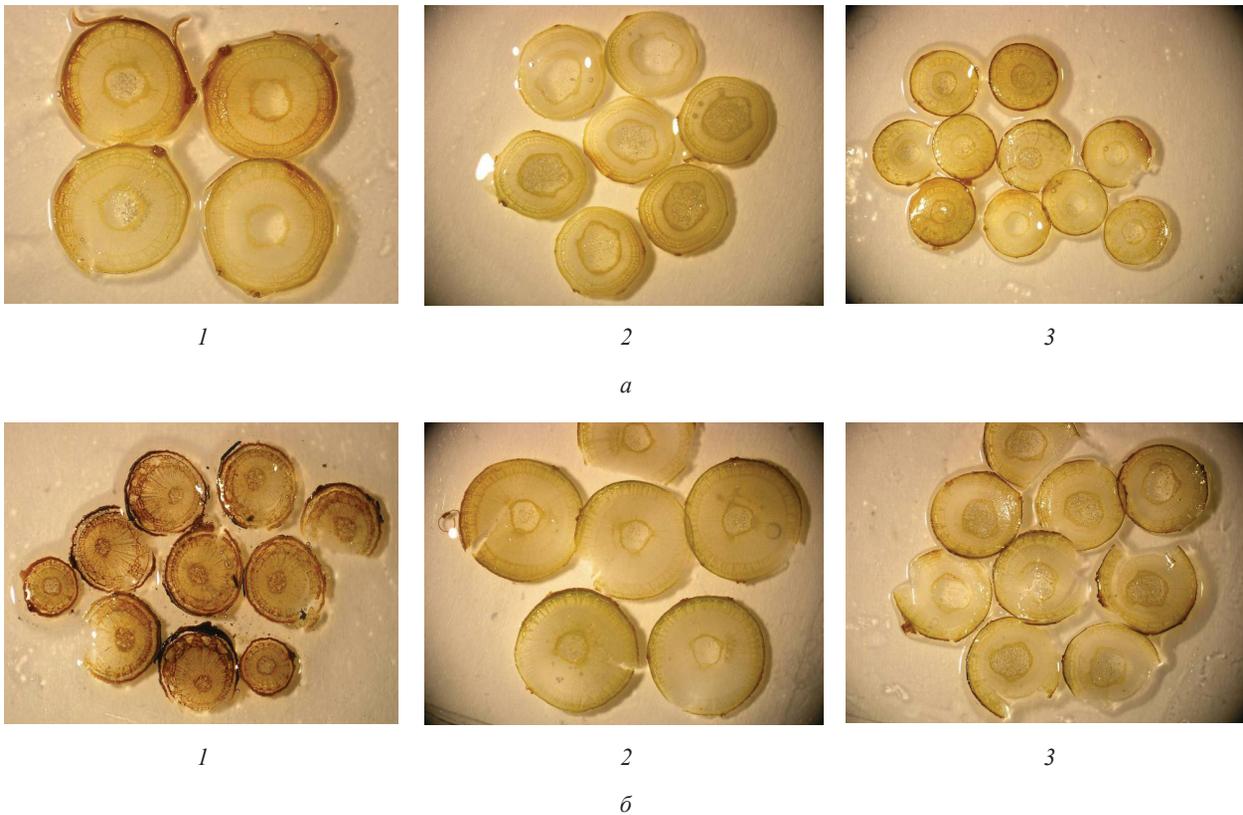


Рис. 2. Побеги липы, отобранные в придорожных насаждениях на различном удалении от дороги и на контроле: *a* — однолетние; *б* — двулетние; 1 — первый ряд придорожных насаждений; 2 — второй ряд придорожных насаждений; 3 — контроль

Fig. 2. Linden shoots, selected in roadside plantations at various distances from the road and under control: *a* — annual; *б* — biennial; 1 — the first row of roadside plantings; 2 — the second row of roadside plantings; 3 — control

возрастных (40-летних) посадках липы, расположенных непосредственно возле проезжей части проспекта Пушкина (первый ряд) и на расстоянии 10...12 м (ширина газона) от проезжей части — второй ряд. Контрольные деревья отбирались на территории Центрального ботанического сада, где при всех равных фоновых условиях полностью отсутствовало воздействие ПГР. Деревья первого ряда имеют признаки повреждения: укороченные побеги; много усохших прошлогодних побегов; мелкие, рано пожелтевшие и опадающие листья. У деревьев второго ряда был внешне здоровый вид: длинные побеги, крупные листья, имеющие темно-зеленую окраску.

Анатомические изменения (рис. 2) липы выражаются: в уменьшении количества устьиц; в увеличении клеток эпидермиса; разрастании клеток губчатой и полисадной паренхимы; в разрушении первичных лубяных волокон, обладающих тонкостенными клетками; в уменьшении годичного прироста. К тому же, во вторичном лубе уменьшается количество лубяных лучей, соединяющих сердцевину с первичной корой; поражается проводящая система центрального цилиндра; нарушается камбиальная деятельность.

В процессе многолетних исследований растений, произрастающих вблизи автомагистралей, а также вдоль улиц и дорог в г. Минске был получен обширный материал, позволяющий четко наметить определенные уровни засоленности, угнетающие разные виды деревьев и кустарников или приводящие к их гибели. Одним из рациональных путей решения проблемы засоления придорожных территорий является подбор ассортимента способного выдерживать негативную антропогенную нагрузку, в том числе хлоридное загрязнение [30–32]. Под солеустойчивостью подразумевается способность растений в силу существующих анатомо-физиологических особенностей выдерживать загрязнение вредными легкорастворимыми солями [33]. По этому признаку выделены следующие категории растений:

— *сильноустойчивые к соляному загрязнению*: аморфа кустарниковая; боярышники колючий и кроваво-красный; вяз малый; гледичия трехколочковая; ива вавилонская; клен Гиннала; лох узколистный; можжевельник казацкий; свидина кроваво-красная; тамариски изящный, мелкоцветковый, развесистый, Хохенакера; тополя бальзамический, Болле, Жака, черный (особенно пира-

мидалевая форма); шелковица белая; шиповник морщинистый; в том числе виды, проявляющие склонность к инвазиям, использование которых ограничено: арония черноплодная, дуб красный, карагана древовидная (акация желтая), облепиха обыкновенная, пузыреплодник калинолистный, робиния ложноакациевая (акация белая), свидина побегообразующая, тополь белый.

– *среднеустойчивые к соляному загрязнению*: бересклет бородавчатый; барбарис Тунберга; береза маньчжурская; бук лесной; вязы гладкий, равнинный, шершавый; дуб черешчатый; жимолость татарская; ивы ломкая и белая; кизил обыкновенный; кизильник блестящий; клены полевой, татарский, серебристый, остролистный; крушина слабительная; лох смешиваемый; миндаль низкий; осина; рябина обыкновенная; скумпия обыкновенная; сирень обыкновенная; слива приземистая; смородина золотистая; смородина черная; сосна обыкновенная; сосна черная альпийская; сумах уксусный; тополя гибридный, дельтовидный, канадский, Симона; шиповники коричноморщинистый, майский (коричный), сизый, Шерарда; форзиция европейская, ясень пенсильванский;

– *слабоустойчивые к соляному загрязнению*: бархат амурский; береза повислая; бересклет европейский; бирючина обыкновенная; все виды боярышников за исключением колючевого и кроваво-красного; вишня кустарниковая; груши дикая, обыкновенная; ель европейская; жестер слабительный; ивы козья, корзиночная, остролистная, пепельная, пурпурная, пятитычинковая; ирга колосистая и ольхолистная; кизил шведский; клены красный и ложноплатановый (явор); липы американская, амурская, войлочная; магония падуболистная; махалебка обыкновенная; миндаль трехлопастной; можжевельник виргинский; орех серый; робиния клейкая; сирень венгерская; сирень Генри; сливы колючая (терн), растопыренная, степная, терновая; смородины альпийская, колосистая, красная; снежнаягодник приречный; спиреи белая, Бумальда, зверобоелистная, ложноиволистная, многоцветковая, ниппонская, средняя, японская; тополя берлинский, душистый, корейский, лавролистный, седоватый; чубушники мелколистный и обыкновенный; шиповники виргинский, войлочный, гололистный, даурский, кустарниковый, ржаво-красный, собачий, столбчатый, франкфуртский, щитконосный, Юндзилла; черемуха Маака, ясени зеленый, ланцетолистный, обыкновенный, орехолистный, остроплодный;

– *очень слабоустойчивые и неустойчивые к соляному загрязнению*.

К последней категории относится большинство используемых древесных и кустарниковых видов.

Решающими факторами, от которых зависит состояние и устойчивость посадок, являются химизм и степень засоления, мощность почвенного профиля, не содержащего вредных для растений легкорастворимых солей в количестве, оказывающем на них токсическое действие. Поэтому при подготовке посадочного места его дно следует разрыхлить на глубину 10...15 см, а затем уложить на него слой из крупнозернистого песка или щебня толщиной 15...25 см в целях обеспечения дренажа почвогрунта, прерывания капиллярного подъема минерализованных растворов к корням растений и поверхности почвы, изоляции корней от контакта с неблагоприятными грунтами и водами. Технология посадок должна включать в себя обязательное заполнение посадочной ямы водой.

Выводы

Результатами проведенных исследований установлено, что основная причина ухудшения состояния придорожных биогеоценозов в Беларуси обусловлена техногенным загрязнением используемыми в зимний период компонентами ПГР, произведенных на основе хлорида натрия, в сочетании с комплексом других негативных факторов. Учитывая высокое содержание ионов натрия и хлора, существующую зависимость аккумуляции их в почве, растениях и общие тенденции распределения, можно констатировать, что автодороги являются источником поступления загрязнения в природные экосистемы. Зоны наибольшей их концентрации в лесных биогеоценозах находятся в прямой зависимости от интенсивности движения автотранспорта. Анализ комплексного загрязнения свидетельствует о наивысшем загрязнении на опушках и в полосе до 35 м от полотна дороги. Отмечена тенденция к увеличению содержания ионов натрия и хлора в почве при повторных наблюдениях.

Изучение последствий загрязнения придорожных территорий, безусловно, оправдано, поскольку формирует представления о современном состоянии окружающей среды вдоль дорог и является базовым материалом для дальнейших исследований. И если сегодня можно констатировать, что аккумуляция веществ-загрязнителей, как правило, не достигает опасного уровня, влияющего на жизненно необходимые функции растительных сообществ, то угроза их вовлечения в биологический круговорот, последней ступенью которого является человек, несомненно, существует.

В будущем следует ожидать дальнейшего ухудшения состояния лесных биогеоценозов вдоль автодорог, поскольку количество выбросов от передвижных источников загрязнения и количество вносимых ПГР продолжают увеличиваться: растет риск проявления эффекта

накопления. Состояние отдельных компонентов лесных биогеоценозов вдоль автодорог убеждает в необходимости проведения мероприятий по поддержанию их устойчивости и функциональной эффективности.

По результатам анализа солеустойчивости дикорастущих и культивируемых видов деревьев и кустарников флоры Беларуси, используемых при озеленении дорог и населенных пунктов (221 вид), подобран ассортимент древесно-кустарниковых растений, устойчивых к загрязнению компонентами ПГР, произведенных на основе хлорида натрия.

Список литературы

- [1] Судник А.В., Вознячук И.П. Оценка степени загрязнения придорожных экосистем комплексом техногенных металлов и хлоридов // Маниторинг і ацэнка стану расліннага свету: матэрыялы V Міжнар. навук. канф. Мінск, Белавежская пушча, 8–12 кастрычніка 2018 г. Минск: Колорград, 2018. С. 186–188.
- [2] Бурова О.В. Особенности воздействия противогололедных материалов на почвы придорожных территорий // Автомобильные дороги и мосты, 2008. № 1. С. 49–52.
- [3] Судник А.В., Ефимова О.Е., Яковлев А.П. Влияние противогололедных реагентов на зеленые насаждения вдоль улиц и дорог г.Минска // Леса Евразии — Белорусское Поозерье: материалы XII Междунар. конф. молодых ученых, посвященная 145-летию Г.Ф. Морозова. НП «Браславские озера», Браслав, Беларусь — Аукштайтский национальный парк, г. Игналина, Литва, 30 сентября–6 октября 2012 г. М.: МГУЛ, 2012. С. 292–294.
- [4] Судник А.В., Новицкий Р.В. Воздействие автомобильных дорог на природно-растительные комплексы и животный мир Беларуси: состояние, реальные и потенциальные угрозы, мониторинг // Материалы науч.-техн. конф., посвященной 50-летию РУП «БелдорНИИ». Минск, 25–26 октября 2012. Минск: БелдорНИИ, 2012. С. 223–228.
- [5] Яковлев А.П., Судник А.В. Влияние солевых реагентов на экологическое состояние почвы и растений в городской среде // Состояние и перспективы развития зеленого строительства в Республике Беларусь: тез. респ. науч.-практ. семинара (г. Минск, 26–27 апреля 2018 г.), НАН Беларуси, ЦБС НАН Беларуси / под ред. В.В. Титка. Минск: Медисонт, 2018. С. 212–215.
- [6] Бельков М.В. Лазерный атомно-эмиссионный анализ аэрального загрязнения зеленых насаждений противогололедными реагентами // Прикладная спектроскопия, 2010. Т. 77, № 2. С. 292–298.
- [7] Центральный ботанический сад НАН Беларуси: сохранение, изучение и использование биоразнообразия мировой флоры / под ред. В.В. Титка, В.Н. Решетникова. Минск: Беларус. навука, 2012. 345 с.
- [8] Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследования). М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
- [9] Методика проведения мониторинга растительного мира в составе Национальной системы мониторинга окружающей среды Республики Беларусь / под ред. А.В. Пугачевского. Минск: Право и экономика, 2011. 165 с.
- [10] ICP Forests Manual. URL: <http://icp-forests.net/page/icp-forests-manual> (дата обращения 13.04.2020).
- [11] Санитарные правила в лесах Республики Беларусь (утв. Постановлением Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь 19.12.2016 № 79). Минск, 2016. 21 с. URL: https://pravo.by/upload/docs/or/W21631603_1483131600.pdf (дата обращения 13.04.2020).
- [12] Алексеев В.А., Чертов О.Г., Сергейчик С.А. Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение / под ред. В.А. Алексеева. Л.: Наука, 1990. 197 с.
- [13] Судник А.В., Голушко Р.М. Состояние лесных и защитных древесных насаждений вдоль автомобильных дорог в Беларуси (по данным мониторинговых наблюдений) // Маниторинг і ацэнка стану расліннага свету: Матэрыялы V Міжнар. навук. канф. Мінск, Белавежская пушча, 8–12 кастрычніка 2018 г. Минск: Колорград, 2018. С. 192–194.
- [14] Добровольский В.В. Основы биогеохимии. М.: Высшая школа, 1998. 413 с.
- [15] Популярная библиотека химических элементов / под ред. В.В. Станцо. М.: Наука, 1977. Кн. 1. 574 с.
- [16] Рахтеенко Л.И., Савельев В.В. Минеральные удобрения в повышении продуктивности сосновых культур-фитоценозов. Минск: Наука и техника, 1985. 136 с.
- [17] Какарека С.В., Хомич В.С., Кухарчик Т.И. Выбросы тяжелых металлов в атмосферу: Опыт оценки удельных показателей / под ред. В.Ф. Логинова. Минск: Ин-т геологических наук НАНБ, 1998. 156 с.
- [18] Сидорович Е.А. Аккумуляция ионов хлора почвами и ассимиляционными органами деревьев в городских насаждениях Минска // Проблемы озеленения городов: альманах, 2004. Вып. 10. С. 203–207.
- [19] Ефимова О.Е. Оценка трансформации нижних ярусов лесной растительности вдоль Минской кольцевой автомобильной дороги // Леса Евразии — Уральские горы. Материалы V Междун. конф. молод. ученых, посвященной 175-летию первого лесоустройства на Урале и 160-летию со дня рождения лесовода Ф.А. Теплоухова. Чебаркуль, УГЛТУ. М.: МГУЛ, 2005. С. 42–44.
- [20] Sudnik A.V., Vozniachuk I.P. State of forest ecosystems in the zone of influence of roads in Belarus // ENVIROAD-2009. II International Conference Environmentally Friendly Roads. October 15–16, 2009. Warsaw: Road & Bridge Research Institute, 2009. 10 p.
- [21] Черноусенко Г.И., Ямнова И.А., Скрипникова М.И. Антропогенное засоление почв Москвы // Почвоведение, 2003, № 1. С. 97–105.
- [22] Медведев С.С. Физиология растений. СПб.: изд-во С-Петербурга, 2004. 336 с.
- [23] Рыжиков В.А. Эколого-геохимическая оценка автотранспортных ландшафтно-функциональных комплексов (на примере г. Минска): автореф. дис. ... канд. геогр. наук: 25.00.36. Геоэкология. Минск: Институт природопользования, 2010. 24 с.
- [24] Строгонов Б.П. Физиологические основы солеустойчивости растений (при разнокачественном засолении почв). М.: Изд-во Акад. наук СССР, 1962. 366 с.
- [25] Sudnik A.V. Influence of roads on nature-vegetative complexes and fauna of Belarus // ENVIROAD-2009. II Int. Conf. Environmentally Friendly Roads. October 15–16, 2009. Warsaw: Road & Bridge Research Institute, 2009. 8 p.
- [26] Судник А.В., Ефимова О.Е. Анализ аэрального загрязнения зеленых насаждений вдоль МКАД компонентами противогололедных реагентов // Леса Евразии — Польские леса: Материалы IX Междунар. конф. молод. ученых, Курник, Польша, 24–30 мая 2009 г. М.: МГУЛ, 2009. С. 90–92.
- [27] Судник А.В. Анализ корреляционной зависимости состояния древостоев в опушечной полосе от нагрузки на

- автодорогах // Леса Евразии — Северный Кавказ: Материалы VIII Междун. конф. молод. ученых, посвящ. 270-летию А.Т. Болотова: Т. 1. Сочи, Краснодарский край, 6–12 октября 2008 г. М.: МГУЛ, 2008. С. 84–88.
- [28] Меланхолин П.Н., Лысыков А.Б. Изменение лесной растительности и почвы под влиянием Московской кольцевой автодороги // Лесоведение, 2002, № 4. С. 53–60.
- [29] Состояние природной среды Беларуси: Экологический бюллетень, 2006–2015 г. / под ред. В.Ф. Логинова. Минск: Изд. центр БГУ, 2007–2016.
- [30] Яковлев А.П. Устойчивость древесно-кустарниковых растений к негативному влиянию противогололедных материалов // Антропогенная трансформация ландшафтов: Материалы IV Респуб. науч.-метод. конф. Минск, 29–30 сентября 2008 г. Минск: Изд-во БГПУ, 2008. С. 98–102.
- [31] Судник А.В., Яковлев А.П. Типовая схема проектирования мероприятий по минимизации воздействия автомобильных дорог на растительность придорожных территорий // Проблемы сохранения биологического разнообразия и использования биологических ресурсов: Матер. III Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 110-летию со дня рождения академика Н.В.Смольского, Минск, Беларусь 7–9 октября 2015 г. В 2 ч. Ч.1. / Под ред. В.В.Титка. Минск: Конфидо, 2015. С. 203–208.
- [32] Судник А.В. Разработка комплекса мер по минимизации воздействия строительства и содержания автодорог на растительность придорожных территорий // Сб. науч. тр. «Природные ресурсы и окружающая среда». Минск: Беларуская навука, 2016. С. 113–117.
- [33] Судник А.В., Яковлев А.П., Скуратович А.Н. Ассортимент древесно-кустарниковых растений, устойчивых к загрязнению противогололедными реагентами // Актуальные проблемы развития лесного комплекса и ландшафтной архитектуры: Матер. Междунар. науч.-практ. конф., Брянск, 6–7 апреля 2016 г. / отв. ред. А.В. Скок. Брянск: Брянский государственный инженерно-технологический университет, 2016. С. 288–293.

Сведения об авторах

Судник Александр Владимирович — канд. биол. наук, заведующий сектором мониторинга растительного мира Института экспериментальной ботаники им. В.Ф. Купревича НАН Беларуси, asudnik@tut.by

Вознячук Ирина Петровна — канд. биол. наук, ведущий научный сотрудник сектора мониторинга растительного мира Института экспериментальной ботаники им. В.Ф. Купревича НАН Беларуси, ipv@tut.by

Поступила в редакцию 22.06.2020.

Принята к публикации 29.09.2020.

CONSEQUENCES OF POLLUTION ON ROADSIDE TERRITORIES BY SALT REAGENTS ON SOIL AND PLANTS ECOLOGICAL STATE IN FOREST BIOGEOCENOSSES

A.V. Sudnik, I.P. Voznyachuk

V.F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of National Academy of Sciences of Belarus, 27, Akademicheskaya st., 220072, Minsk, Republic of Belarus

asudnik@tut.by

The study results indicate that the main reason for deterioration of state of roadside plantings in Belarus is due to technogenic pollution by used in winter period components of antiglaze reagents containing sodium chloride as well as a combination of other negative factors. Given the high content of sodium and chlorine ions, the existing dependence of accumulation in soil, plants, and general trends of distribution territorially, it can be ascertained that roads are a source of their entry into natural ecosystems, which today act as their accumulators. The zones of their greatest concentration in landscapes are directly dependent on the intensity of traffic. Pollution of biogeocenosis can be traced at least 300 meters from the roadway, the greatest occurs at the edges and in a strip up to 35 m away from a road. A tendency toward an increase in the content of chloride in the soil relative to earlier descriptions was noted. The consequences of pollution on roadside territories by sodium and chlorine ions on the ecological state of soil and plants of forest biogeocenosis were described. While maintaining the existing road maintenance regimen in winter period, the threat of reaching a “toxicity threshold” for plants, after which inhibition of plant growth and development begins, is a matter of time. Assortment of tree-shrub plants that are resistant to pollution by antiglaze reagents was selected according to the results of the salt tolerance analysis of wild-growing and cultivated species of trees and shrubs (221 species) of the Belarus flora used in landscaping roads and settlements.

Keywords: road, roadside territory, antiglaze reagents (AGR), ions of sodium (Na⁺) and chlorine (Cl⁻), pollution, state

Suggested citation: Sudnik A. V., Voznyachuk I.P. *Posledstviya vozdeystviya zagryazneniya pridorozhnykh territoriy komponentami solevykh reagentov na ekologicheskoe sostoyanie pochvy i rasteniy v lesnykh biogeotsenozakh* [Consequences of pollution on roadside territories by salt reagents on soil and plants ecological state in forest biogeocenoses]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 6, pp. 83–95.
DOI: 10.18698/2542-1468-2020-6-83-95

References

- [1] Sudnik A.V., Voznyachuk I.P. *Otsenka stepeni zagryazneniya pridorozhnykh ekosistem kompleksom tekhnogennykh metallov i khloridov* [Assessment of the degree of pollution of roadside ecosystems with a complex of technogenic metals and chlorides]. Manitoryng i atsenka stanu raslinnaga svetu: materyyaly V Mizhnarodnay navukovay kanferentsyi. Minsk, Belavezhskaya Pushcha, 8–12 October 2018. Minsk: Kolorgrad, 2018, pp. 186–188.
- [2] Burova O.V. *Osobennosti vozdeystviya protivogolelednykh materialov na pochvy pridorozhnykh territoriy* [Peculiarities of the impact of anti-icing materials on the soils of roadside areas]. *Avtomobil'nye dorogi i mosty* [Automobile roads and bridges], 2008, no. 1, pp. 49–52.
- [3] Sudnik A.V., Efimova O.E., Yakovlev A.P. *Vliyanie protivogolelednykh reagentov na zelenye nasazhdeniya vdol' ulits i dorog g.Minska* [Influence of anti-icing reagents on green spaces along streets and roads of Minsk]. *Lesa Yevrazii — Belorusskoye Poozer'ye: materialy XII Mezhdunar. konf. molodykh uchenykh, posvyashchennaya 145-letiyu G.F. Morozova* [Forests of Eurasia — Belarusian Poozerie: materials of the XII Intern. conf. young scientists dedicated to the 145th anniversary of G.F. Morozov]. NP «Braslav Lakes», Braslav, Belarus — Aukshtaitiyskiy National Park, Ignalina, Lithuania, September 30 – October 6, 2012. Moscow: MGUL, 2012, pp. 292–294.
- [4] Sudnik A.V., Novitskiy R.V. *Vozdeystvie avtomobil'nykh dorog na prirodno-rastitel'nye komplekсы i zhitovnyy mir Belarusi: sostoyanie, real'nye i potentsial'nye ugrozy, monitoring* [Impact of highways on natural plant complexes and fauna of Belarus: state, real and potential threats, monitoring]. *Materialy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, posvyashchennoy 50-letiyu RUP «BeldorNII»* [Materials of the scientific and technical conference dedicated to the 50th anniversary of RUE «BeldorNII»]. Minsk, October 25–26, 2012. Minsk: BeldorNII, 2012, pp. 223–228.
- [5] Yakovlev A.P., Sudnik A.V. *Vliyanie solevykh reagentov na ekologicheskoe sostoyanie pochvy i rasteniy v gorodskoy srede* [The influence of salt reagents on the ecological state of soil and plants in the urban environment]. *Sostoyanie i perspektivy razvitiya zelenogo stroitel'stva v Respublike Belarus': tez. Resp. nauch.-prakt. seminar (g. Minsk, 26–27 aprelya 2018 g.)* [State and prospects for the development of green building in the Republic of Belarus: abstracts]. Rep. scientific-practical seminar (Minsk, April 26–27, 2018), National Academy of Sciences of Belarus, Central Library System of the National Academy of Sciences of Belarus. Ed. V.V. Titok. Minsk: Medison, 2018, pp. 212–215.
- [6] Bel'kov M.V. *Lazernyy atomno-emissionnyy analiz aeral'nogo zagryazneniya zelenykh nasazhdeniy protivogolelednymi reagentami* [Laser atomic emission analysis of aerial pollution of green spaces with anti-icing reagents]. *Prikladnaya spektroskopiya* [Applied Spectroscopy], 2010, v. 77, no. 2, pp. 292–298.
- [7] *Tsentral'nyy botanicheskiy sad NAN Belarusi: sokhraneniye, izuchenie i ispol'zovanie bioraznoobraziya mirovoy flory* [Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus: conservation, study and use of the biodiversity of the world flora]. Ed. V.V. Titok, V.N. Reshetnikov. Minsk: Belarus Navuka, 2012, 345 p.
- [8] Dospekhov B.A. *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniya)* [Field experiment technique (with the basics of statistical processing of research results)]. Moscow: Agropromizdat, 1985, 351 p.
- [9] *Metodika provedeniya monitoringa rastitel'nogo mira v sostave Natsional'noy sistemy monitoringa okruzhayushchey sredy Respubliki Belarus'* [Methodology for monitoring the flora as part of the National Environmental Monitoring System of the Republic of Belarus]. Ed. A.V. Pugachevsky. Minsk: Law and Economics, 2011, 165 p.
- [10] ICP Forests Manual. Available at: <http://icp-forests.net/page/icp-forests-manual> (accessed 13.04.2020).
- [11] *Sanitarnye pravila v lesakh Respubliki Belarus' (utv. Postanovleniem Ministerstva lesnogo khozyaystva Respubliki Belarus' 19.12.2016 № 79)* [Sanitary rules in the forests of the Republic of Belarus (approved by the Resolution of the Ministry of Forestry of the Republic of Belarus 19.12.2016 No. 79)]. Minsk, 2016, 21 p.
- [12] Alekseev V.A., Chertov O.G., Sergeychik S.A. *Lesnye ekosistemy i atmosfernoye zagryazneniye* [Forest ecosystems and atmospheric pollution]. Ed. V.A. Alekseev. Leningrad: Nauka (Leningradskoe department), 1990, 197 p.
- [13] Sudnik A.V., Golushko R.M. *Sostoyanie lesnykh i zashchitnykh drevesnykh nasazhdeniy vdol' avtomobil'nykh dorog v Belarusi (po dannym monitoringovykh nablyudeniy)* [Condition of forest and protective tree plantations along highways in Belarus (according to monitoring observations)]. *Manitoryng i atsenka stanu raslinnaga svetu: Materyyaly V Mizhnarodnay navukovay kanferentsyi*. Minsk, Belavezhskaya Pushcha, 8–12 October, 2018. Minsk: Kolorgrad, 2018, pp. 192–194.
- [14] Dobrovolskiy V.V. *Osnovy biogeokhimi* [Fundamentals of biogeochemistry]. Moscow: Vysshaya shkola [Higher school], 1998, 413 p.
- [15] *Populyarnaya biblioteka khimicheskikh elementov* [Popular library of chemical elements]. Ed. V.V. Stanzo. Moscow: Nauka, 1977, book 1, 574 p.
- [16] Rakhtenko L.I., Savel'ev V.V. *Mineral'nye udobreniya v povyshenii produktivnosti sosnovykh kul'turfitosenozov* [Mineral fertilizers in increasing the productivity of pine culture phytocenoses]. Minsk: Nauka i tekhnika [Science and Technology], 1985, 136 p.
- [17] Kakareka S.V., Khomich V.S., Kukharchik T.I. *Vybrosy tyazhelykh metallov v atmosferu: Opyt otsenki udel'nykh pokazateley* [Emissions of heavy metals into the atmosphere: Experience in assessing specific indicators]. Ed. V.F. Loginov. Minsk: Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Belarus, 1998, 156 p.
- [18] Sidorovich E.A. *Akkumulyatsiya ionov khloro pochvami i assimilatsionnymi organami derev'ev v gorodskikh nasazhdeniyakh Minska* [Accumulation of chlorine ions by soils and assimilation organs of trees in urban plantations of Minsk]. *Problemy ozeleneniya gorodov: al'manakh* [Problems of urban greening: almanac], 2004, iss. 10, pp. 203–207.
- [19] Efimova O.E. *Otsenka transformatsii nizhnikh yarusov lesnoy rastitel'nosti vdol' Minskoy kol'tsevoy avtomobil'noy dorogi* [Assessment of the transformation of the lower tiers of forest vegetation along the Minsk ring road]. *Lesa Evrazii — Ural'skie gory. Mater. V Mezhdunar. konf. molod. uchenykh, posvyashchennoy 175-letiyu pervogo lesoustroystva na Urale i 160-letiyu so dnya rozhdeniya lesovoda F.A. Teploukhova* [Forests of Eurasia — Ural mountains. Mater. V Int. conf. young scientists dedicated to the 175th anniversary of the first forest management in the Urals and the 160th anniversary of the birth of the forester F.A. Teploukhov]. Chebarkul, UGLTU. Moscow: MGUL, 2005, pp. 42–44.
- [20] Sudnik A.V., Vozniachuk I.P. *State of forest ecosystems in the zone of influence of roads in Belarus. ENVIROAD-2009. II International Conference Environmentally Friendly Roads. October 15–16, 2009. Warsaw: Road & Bridge Research Institute, 2009. 10 p.*

- [21] Chernousenko G.I., Yamnova I.A., Skripnikova M.I. *Antropogennoe zasolenie pochv Moskvy* [Anthropogenic soil salinization in Moscow]. *Pochvovedenie* [Pochvovedenie], 2003, no. 1, pp. 97–105.
- [22] Medvedev S.S. *Fiziologiya rasteniy* [Plant physiology]. St. Petersburg: Publishing house of St. Petersburg University, 2004, 336 p.
- [23] Ryzhikov V.A. *Ekologo-geokhimicheskaya otsenka avtotransportnykh landshaftno-funktional'nykh kompleksov (na primere g.Minska)* [Ecological and geochemical assessment of motor transport landscape-functional complexes (on the example of Minsk)]. Dis. Cand. Sci. (Geogr.): 25.00.36. Geoecology. Minsk: Institut prirodopol'zovaniya [Institute of Nature Management], 2010, 24 p.
- [24] Strogonov B.P. *Fiziologicheskie osnovy soleustoychivosti rasteniy (pri raznokachestvennom zasolenii pochv)* [Physiological bases of plant salinity tolerance (in case of different-quality soil salinization)]. Moscow: Publishing house Acad. Sciences USSR, 1962, 366 p.
- [25] Sudnik A.V. Influence of roads on nature-vegetative complexes and fauna of Belarus. ENVIROAD-2009. II International Conference Environmentally Friendly Roads. October 15–16, 2009. Warsaw: Road & Bridge Research Institute, 2009. 8 p.
- [26] Sudnik A.V., Efimova O.E. *Analiz aeral'nogo zagryazneniya zelenykh nasazhdeniy vdol' MKAD komponentami protivogolelednykh reagentov* [Analysis of aerial pollution of green spaces along the Moscow Ring Road with components of anti-icing reagents]. *Lesa Evrazii — Pol'skie lesa*: Mater. IX Mezhdun. konf. molod. uchenykh [Lesa Eurasia — Polish forests: Mater. IX Int. conf. young. Scientists]. Kurnik, Poland, May 24–30, 2009. Moscow: MGUL, 2009, pp. 90–92.
- [27] Sudnik A.V. *Analiz korrelyatsionnoy zavisimosti sostoyaniya drevostoev v opushechnoy polose ot nagruzki na avtodorogakh* [Analysis of the correlation dependence of the state of forest stands in the forest edge on the load on the roads]. *Lesa Evrazii — Severnyy Kavkaz*: Mater. VIII Mezhdun. konf. molod. uchenykh, posvyashch. 270-letiyu A.T. Bolotova [Forests of Eurasia — North Caucasus: Mater. VIII Int. conf. young. scientists dedicated. To the 270th anniversary of A.T. Bolotova]. V. 1. Sochi, Krasnodar Territory, October 6–12, 2008. Moscow: MGUL, 2008, pp. 84–88.
- [28] Melankholin P.N., Lysikov A.B. *Izmenenie lesnoy rastitel'nosti i pochvy pod vliyaniem Moskovskoy kol'tsevoy avtodorogi* [Changes in forest vegetation and soil under the influence of the Moscow Ring Road]. *Russian Journal of Forest Science*, 2002, no. 4, pp. 53–60.
- [29] *Sostoyanie prirodnoy sredy Belarusi: Ekologicheskiy byulleten', 2006–2015 g.* [The state of the natural environment in Belarus: Ecological bulletin, 2006–2015]. Ed. V.F. Loginov. Minsk: Ed. center of BSU, 2007–2016.
- [30] Yakovlev A.P. *Ustoychivost' drevesno-kustarnikovykh rasteniy k negativnomu vliyaniyu protivogolelednykh materialov* [Resistance of woody and shrubby plants to the negative impact of anti-icing materials]. *Antropogennaya transformatsiya landshaftov: mat-ly IV Respublikanskoj nauchno-metodicheskoy konferentsii* [Anthropogenic transformation of landscapes: materials of the IV Republican Scientific and Methodological Conference], Minsk, September 29–30, 2008. Minsk: BSPU Publishing House, 2008, pp. 98–102.
- [31] Sudnik A.V., Yakovlev A.P. *Tipovaya skhema proektirovaniya meropriyatiy po minimizatsii vozdeystviya avtomobil'nykh dorog na rastitel'nost' pridorozhnykh territoriy* [A typical design scheme for measures to minimize the impact of highways on the vegetation of roadside territories]. *Problemy sokhraneniya biologicheskogo raznoobraziya i ispol'zovaniya biologicheskikh resursov: Materialy III Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashchennoy 110-letiyu so dnya rozhdeniya akademika N.V.Smol'skogo* [Problems of biodiversity conservation and use of biological resources: Proceedings of the III Intern. scientific-practical Conf., dedicated to the 110th anniversary of the birth of Academician N.V. Smolsky]. October 7–9, 2015, Minsk, Belarus. At 2 p., part 1. Ed. V.V. Titok. Minsk: Confido, 2015, pp. 203–208.
- [32] Sudnik A.V. *Razrabotka kompleksa mer po minimizatsii vozdeystviya stroitel'stva i soderzhaniya avtodorog na rastitel'nost' pridorozhnykh territoriy* [Development of a set of measures to minimize the impact of road construction and maintenance on the vegetation of roadside areas]. *Sbornik nauchnykh trudov «Prirodnye resursy i okruzhayushchaya sreda»* [Collection of scientific papers «Natural resources and the environment»]. Minsk: Belaruskaya Navuka, 2016, pp. 113–117.
- [33] Sudnik A.V., Yakovlev A.P., Skuratovich A.N. *Assortiment drevesno-kustarnikovykh rasteniy, ustoychivykh k zagryazneniyu protivogolelednymi reagentami* [Assortment of woody and shrubby plants resistant to pollution by anti-icing agents]. *Aktual'nye problemy razvitiya lesnogo kompleksa i landshaftnoy arkhitektury: materialy mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Actual problems of the development of the forest complex and landscape architecture: materials of the international. scientific-practical conf.], Bryansk, April 6–7, 2016. Ed. A.V. Dap. Bryansk: Bryansk State Engineer-technol. Univ., 2016, pp. 288–293.

Authors' information

Sudnik Aleksandr Vladimirovich — Cand. Sci. (Biology), Head of vegetation monitoring sector of V.F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of National Academy of Sciences of Belarus, asudnik@tut.by

Voznyachuk Irina Petrovna — Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher of vegetation monitoring sector of V.F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus, ipv@tut.by

Received 22.06.2020.

Accepted for publication 29.09.2020.

ФОРМИРОВАНИЕ КОРНЕВОЙ СИСТЕМЫ ХВОЙНЫХ РАСТЕНИЙ В НАСАЖДЕНИЯХ Г. ИЖЕВСКА (УДМУРТСКАЯ РЕСПУБЛИКА)

И.Л. Бухарина, А.С. Пашкова

ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет», 426034, Удмуртская Республика, г. Ижевск, ул. Университетская, д. 1

buharin@udmlink.ru

Исследования проведены в крупном промышленном центре Уральского региона — городе Ижевске в насаждениях различных экологических категорий: насаждения селитебной зоны (жилой микрорайон «Север»), примагистральные посадки (ул. Удмуртская) и парковые насаждения, произрастающие в городском парке ландшафтного типа имени С.М. Кирова, имеющего компактную нерасчлененную конфигурацию, площадью 85 га. Объекты исследования: представитель местной флоры — ель европейская (*Picea abies* L.) и интродуцированный вид — ель колочая (*Picea pungens* Engelm.), преобладающие среди видов хвойных пород, используемых в озеленении города. Обработка результатов массива данных образцов корней методом кластерного анализа показала наличие двух крупных кластеров: в первом из которых находится *P. pungens*, произрастающая в магистральных посадках, во втором — *P. pungens* и *P. abies*, произрастающие в остальных исследуемых категориях насаждений. При обработке результатов морфологических показателей также выявлено наличие двух кластеров, отражающих сходные реакции елей при формировании корневой системы. Установлено, что существенное влияние на формирование корневой системы оказывают условия произрастания растений и видовые особенности. Общая корненасыщенность однометрового слоя почвы городских насаждений выше у *P. pungens*, но в условиях наиболее высокой техногенной нагрузки (в магистральных насаждениях) этот показатель выше у *P. abies*. По мере роста техногенной нагрузки меняется и доля различных фракций корней: у *P. pungens* возрастает доля полускелетных корней, а у *P. abies* — скелетных, а при максимальной нагрузке — полускелетных и всасывающих корней.

Ключевые слова: хвойные растения, корневая система, корненасыщенность, тяжелые металлы, устойчивость

Ссылка для цитирования: Бухарина И.Л., Пашкова А.С. Формирование корневой системы хвойных растений в насаждениях г. Ижевска (Удмуртская Республика) // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 6. С. 96–102. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-6-96-102

Изучение состояния корневых систем древесных пород, их распределение в почве в горизонтальном и вертикальном направлениях, выраженное количественными и качественными показателями в виде архитектоники, подземной фитомассы, объема, поверхности, площади и корненасыщенности, дает ответ на многие вопросы, касающиеся роста и развития древесных растений. Существенное влияние на формирование корневой системы оказывают условия произрастания и видовые особенности растений.

Формирование структуры подземных органов растений в условиях техногенно нарушенных земель изучено недостаточно. Это связано с многими факторами: с большим разнообразием экологических условий, возникающих в местах нарушения и загрязнения земель, с природой и источниками деструкции территории, климатическими условиями, составом древесно-кустарниковых пород в зеленом строительстве городов, а также с определенными методическими сложностями изучения корневой системы древесных растений [1, 2]. При формировании искусственных насаждений сведения об особенностях корневых систем приобретают важное значение, поскольку на деструктивных территориях должны создаваться такие почвенно-экологические усло-

вия, которые соответствовали бы биологическим особенностям и экологическим потребностям растений, с учетом зоо- и микробиоценозных компонентов в связи с их целевым назначением [3–5].

Цель работы

Цель работы — характеристика особенностей формирования корневой системы у хвойных растений, наиболее широко используемых в озеленении города.

Материалы и методы

Исследования проведены в крупном промышленном центре Уральского региона г. Ижевске (население более 630 тыс. чел.) с развитыми промышленностью, транспортной сетью и социальной инфраструктурой, при среднем и высоком уровнях загрязнения среды. Географическое положение г. Ижевска: 56°50'59" с. ш. и 53°12'16" в. д. Климат умеренно континентальный; средняя годовая температура воздуха 2,4 °С; безморозный период длится в среднем 128 сут; продолжительность солнечного сияния 1839 ч в год; осадки неравномерно распределены по месяцам года, а среднегодовое их количество составляет 508 мм [6, 7].

С учетом функционального зонирования города для исследования были выбраны насаждения различных экологических категорий, испытывающие антропогенную нагрузку разной степени интенсивности: насаждения селитебной зоны (жилой микрорайон «Север») и примагистральные посадки (ул. Удмуртская). В качестве зоны условного контроля (ЗУК) выбран парк ландшафтного типа ЦПКиО им. С.М. Кирова. В качестве объектов исследования выступали виды хвойных растений: представитель местной флоры — ель европейская (*Picea abies* L.) и интродуцированный вид — ель колочая (*Picea pungens* Engelm.), преобладающие среди видов хвойных пород, используемых в озеленении города [8].

В каждом из исследуемых насаждений закладывались пробные площади (ПП) (не менее 0,25 га). На ПП применялся перечислительный метод таксации насаждений. Диаметр деревьев определялся с помощью мерной вилки, возраст — возрастным буровом Haglof-350 мм, высота — высотомером Forestry Pro Nikon. По жизненному состоянию древесные растения подразделили на три группы: 1) хорошего (крона густая или слегка изрежена, хвоя зеленая/светло-зеленая; отдельные ветви засохли); 2) удовлетворительного (крона ажурная; хвоя светло-зеленая, матовая; прирост ослабленный, менее половины обычного; усыхание ветвей до 50 %; наличие на стволе механических повреждений, имеются признаки первичного повреждения ксилофагами и/или деструкторами (например, повреждающими грибами)); 3) неудовлетворительного жизненного состояния (хвоя желтоватая, усыхание ветвей до 2/3 кроны; плодовые тела трутовых грибов, наличие дупел, погибшие особи).

Учетные растения имели хорошее жизненное и средневозрастное генеративное онтогенетическое состояние.

Исследование корневой системы проводилось методом монолитов [9–11]. Для этого закладывались почвенные разрезы, расположенные таким образом, что их длинная сторона была направлена перпендикулярно направлению роста горизонтальных корней. Почвенные монолиты размером 10×10 см закладывались вдоль почвенного разреза.

Выборку корней из монолитов проводили пинцетом с последующей отмывкой корней водой на ситах с диаметром ячеек 0,5 мм. После отмывки проводили разделение корней на фракции по диаметру корней: до 1 мм (всасывающие волоски), 1...3 мм (проводящие, полускелетные корни) и более 3 мм (скелетные). Определяли длину корней, массу (в сыром и воздушно-сухом состоянии) для каждой из фракций. Промеры делали стандартным способом (штангенциркулем с точностью до 0,1 мм).

В местах отбора растительных образцов провели отбор проб почвенных грунтов и их агрохимический анализ путем определения следующих показателей: обменной кислотности pH_{KCl} ; содержания органического вещества (гумуса); содержания аммонийного азота; нитратов; подвижных форм калия и фосфора (мг/кг почвы); влажности почв. Исследования проводились в аккредитованной лаборатории АО «Агрохимцентр Удмуртский» (номер в реестре аккредитованных лиц ФСА Росаккредитация — № RA.RU.21 ПА 13 от 16.08.2016 г.). Содержание валовых форм тяжелых металлов в почвах проводили в центре аналитического контроля (аттестат аккредитации № РОССТУ.0001.514685).

Результаты и обсуждение

Специфической особенностью городских почв является пестрота морфологического строения, резкая контрастность физико-химических и биологических свойств, мозаичность контуров. Это обусловлено, с одной стороны, их различным антропогенным происхождением, когда утрачивается генетическая связь с почвообразующими породами (например, почвы газонов, парков, насыпные почвы и пр.), с другой — самим антропогенным влиянием, которое испытывают почвы [12].

Почвы парковой зоны относятся к естественным, у которых преобразование почвенного профиля составляет не более 50 см и сохранены типовые признаки. Здесь преобладают супесчаные дерново-подзолистые почвы. Содержание органического вещества в данных почвах составляет 4,23 % (табл. 1), реакция почвенного раствора слабокислая и близка к нейтральной (pH_{KCl} 5,83; pH_{H_2O} 6,70). В целом почвы характеризуются средней уплотненностью, полевая влажность составляет 17,08 %. В насаждениях, произрастающих в микрорайоне «Север», почвенный раствор характеризовался слабощелочной (близкой к нейтральной) реакцией. Почвы имели нормальные плотность сложения и влажность, довольно высокое содержание гумуса. В магистральных посадках выявлен комплекс антропогенных почв с преобладанием стратоземов (насыпь поверх естественного профиля). Для почвы характерны значения pH_{KCl} 6,97 и pH_{H_2O} 8,03, содержание органического вещества — 2,29 %, полевая влажность — 15,9 %. Почвы имели среднюю плотность.

Характеристика структуры почв и основных агрохимических показателей в городских почвах позволяет получить объективные данные по содержанию различных элементов питания в почвах, необходимых для роста и развития растений, а также о степени загрязнения почв. Однако эти показатели не дают возможности в полной

Т а б л и ц а 1
Агрохимические и физические показатели почв в районах исследования
Agrochemical and physical parameters of soils in the study areas

Показатель	Категории насаждений		
	Парк им. Кирова	Улица Удмуртская	Микрорайон «Север»
pH _{KCl} (актуальная)	5,8 ± 0,2* 4,9...6,8**	7,0 ± 0,1 6,5...7,4	7,2 ± 0,0 7,2...0,0
pH _{H₂O} (гидролитическая)	6,7 ± 0,0 6,7...6,7	8,0 ± 0,2 6,7...9,3	7,7 ± 0,02 7,6...7,8
Органическое вещество, % (гумус)	4,2±0,2 3,5...4,9	2,3±0,1 2,1...2,5	6,5±0,04 6,3...6,7
Содержание аммонийного азота NH ₄ ⁺ , мг/кг	331,6 ± 6,9 301,9...361,2	541,9 ± 4,3 480,6...603,4	108,5 ± 7,4 76,8...140,3
Содержание нитратного азота NO ₃ ⁻ ион, мг/кг	16,8 ± 0,4 15,1...18,5	5,1 ± 0,9 1,5...8,8	0,2 ± 0,03 0,1...0,4
Содержание оксида фосфора P ₂ O ₅ , мг/кг	290,8 ± 10,4 245,9...335,5	321,9 ± 6,9 292,5...351,5	133,1 ± 0,0 133,1...133,1
Содержание оксида калия K ₂ O, мг/кг	371,4 ± 1,3 366,0...376,8	423,2 ± 9,3 383,4...463,0	197,1 ± 3,4 182,4...211,7
Влажность, %	7,1 ± 0,6 4,5...9,7	15,9 ± 1,4 9,7...22,1	8,0 ± 1,0 5,6...11,2
Плотность, г/см ³	1,21 ± 0,03 1,11...1,31	1,13 ± 0,03 1,04...1,22	1,31 ± 0,04 1,01...1,41
* Среднее значение показателя ± стандартное отклонение; ** Доверительный интервал для среднего значения; жирным шрифтом выделены значения достоверно отличные от контрольного варианта (почвы парка им. Кирова) при P < 0,05.			

Т а б л и ц а 2
Содержание валовых форм тяжелых металлов в почвах насаждений разных экологических категорий, мг/кг
Content of gross forms of heavy metals in soils of plantations of different ecological categories, mg/kg

Металл	Парк им. Кирова	Улица Удмуртская	Микрорайон «Север»
Cd	0,2 ± 0,1	0,05 ± 0,1	0,05 ± 0,1
Mn	390,0 ± 82,2	891,0 ± 187,0	895,0 ± 178,0
Cu	3,8 ± 1,1	85,0 ± 1,2	28,4 ± 8,5
Ni	13,6 ± 4,0	27,8 ± 5,6	18,9 ± 4,0
Pb	11,6 ± 2,4	43,6 ± 2,0*	15,2 ± 4,5
Zn	34,6 ± 7,3	94,0 ± 28,0	51,9 ± 10,9
* Превышение предельно-допустимой концентрации.			

мере судить о степени воздействия окружающей среды на состояние изучаемых видов древесных растений.

Корневая система контактирует напрямую с урбаноземом, выполняя барьерную функцию, контролирует (предотвращает) проникновение загрязняющих веществ в растительный организм. Однако при высокой антропогенной нагрузке происходит нарушение свойств клеток, а именно проницаемости протопласта, что приводит к насыщению корней тяжелыми металлами (табл. 2) [13–16].

Для изучения корневой системы были сделаны почвенные разрезы с закладкой монолитов вдоль них [17, 18]. Отбор образцов корней выполняли из трех горизонтов: гумусово-эллювиального (далее — горизонт 1), эллювиального (далее — горизонт 2) и иллювиального (далее — горизонт 3). Первичный массив данных был обработан методом кластерного анализа, который позволил объединить объекты исследования и места их произрастания в кластеры (группы) по совокупности общих данных (рис. 1).

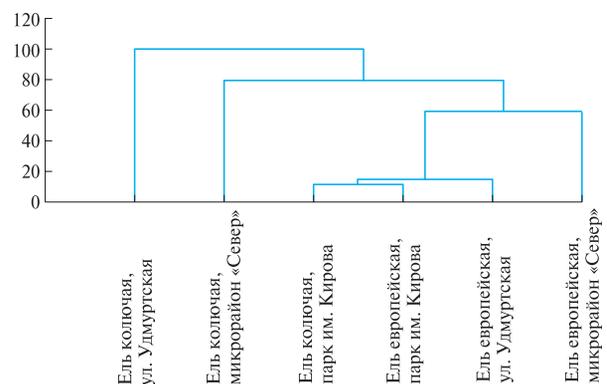


Рис. 1. Кластерный анализ показателей корневой системы ели колючей и ели европейской в насаждениях г. Ижевска, %

Fig. 1. Cluster analysis of indicators of the root system of Blue spruce and European spruce in the plantations of Izhevsk, %

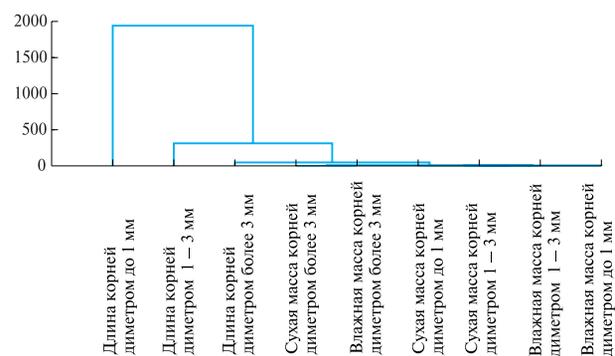


Рис. 2. Кластерный анализ морфологических показателей корней ели колючей и ели европейской (г. Ижевск), %

Fig. 2. Cluster analysis of morphological parameters of the roots of Blue spruce and European spruce (Izhevsk), %

Т а б л и ц а 3

Корненасыщенность однометрового слоя почвы корневой системой ели колючей и ели европейской в насаждениях г. Ижевска

Root occupation of a one-meter soil layer with the root system of Blue spruce and European spruce in the plantations of Izhevsk

Вид	Номер горизонта*	Корненасыщенность, %			Корненасыщенность, г/м ²		
		Диаметр корней					
		до 1 мм	1...3 мм	> 3 мм	до 1 мм	1...3 мм	> 3 мм
Парк им. Кирова							
Ель европейская	1	40,5	32,4	27,1	129,8	103,8	86,7
	2	38,9	27,8	33,3	13,0	9,3	11,1
	3	24,3	40,6	35,1	10,2	17,0	14,7
	Итого	38,7	32,9	28,4	153,0	130,1	112,4
Ель колючая	1	85	15	0	240,4	42,1	0,0
	2	22,9	31,8	45,3	23,9	33,2	47,4
	3	8,2	0	91,8	1,3	0,0	13,5
	Итого	66,1	18,8	15,1	265,6	75,4	60,9
Улица Удмуртская							
Ель европейская	1	41,5	51,7	6,8	129,5	161,3	20,9
	2	31	27	42	44,9	39,2	60,5
	3	38	21,5	40,5	3,0	1,7	3,2
	Итого	38,2	43,6	18,2	177,4	202,3	84,6
Ель колючая	1	90,3	9,7	5,6	5,6	0,6	0,0
	2	22,5	77,5	4,1	4,1	14,1	0,0
	3	7	17,8	1,5	1,5	3,8	16,0
	Итого	24,5	40,5	35	11,2	18,5	16,0
Микрорайон «Север»							
Ель европейская	1	55,3	44,7	0	100,6	81,2	0,0
	2	20,9	14,2	64,9	155,4	105,9	483,6
	3	10	60,5	29,5	2,1	12,7	6,3
	Итого	27,2	21,1	51,7	258,1	199,8	489,9
Ель колючая	1	65,5	34,5	0	651,0	343,2	0,0
	2	7	79	14	34,9	394,8	70,9
	3	26,3	71,2	2,5	17,7	47,9	1,7
	Итого	45	60	5	703,6	785,9	72,5

*Горизонт 1 — гумусово-эллювиальный; горизонт 2 — эллювиальный; горизонт 3 — иллювиальный.

В результате было выделено два крупных кластера (Евклидово расстояние 100 %), в одном из которых находится ель колючая, произрастающая в магистральной зоне, в другом — ель колючая и ель европейская, произрастающие в остальных исследуемых насаждениях.

В целях выявления сходных реакций растений, отраженных в формировании морфологических показателей корневой системы, также был проведен кластерный анализ. С его помощью выявлено наличие двух кластеров, в одном из них объединены показатели длины и биомассы корней ($d > 3$ мм), а также длина корней ($d = 1 \dots 3$ мм); во втором кластере — длина всасывающих корней ($d < 1$ мм) (рис. 2).

Также нами был рассчитан показатель корненасыщенности почвы (г/м²) и определена площадь корней (см²).

В парковых насаждениях максимальная насыщенность почвы поглощающими корнями отмечена у обоих изучаемых видов в горизонте 1 (табл. 3): у ели европейской — 129,8 г/м² и у ели колючей — 240,4 г/м². Общая корненасыщенность (с учетом всех фракций корней) однометрового слоя почвы у ели европейской составила 395,5 г/м², а у ели колючей — 401,8 г/м². У обоих изучаемых видов в корневой системе преобладают поглощающие корни.

Следует отметить, что ель колючая значительно превосходит ель европейскую по формированию поглощающих корней, но уступает почти в 2 раза по показателю корненасыщенности корнями других фракций, что может свидетельствовать о видовых особенностях структуры корневой системы у изучаемых видов.

В примагистральных насаждениях показатели корненаасыщенности почвы у ели европейской резко отличаются от ели колочей; у ели европейской она составила 464,3 г/м², а у ели колочей всего лишь 45,7 г/м². Основная масса корней у ели европейской располагается в горизонте 1 — 67 % общей массы корней, у ели колочей в горизонте 3 — 47 % общей массы. У обоих изучаемых видов преобладают полускелетные корни.

В насаждениях микрорайона «Север» корненаасыщенность почвы поглощающими и полускелетными корнями у ели колочей значительно выше, чем у ели европейской. Однако скелетных корней больше формируется у ели европейской. Общая корненаасыщенность однометрового слоя почвы в насаждениях ели колочей составляет 1562,0 г/м², а у ели европейской — 847,8 г/м². Основная масса корней у ели колочей располагается в горизонте 1 и составляет 63 %. У ели европейской основная масса корней располагается в горизонте 2 — 78 % массы всех корней. Минимальная корненаасыщенность почвы у обоих видов отмечена в горизонте 3 и, соответственно, составляет 67,3 и 21 г/м² (4,3 и 2,2 %).

Выводы

В ходе исследований выявлены особенности ели колочей и ели европейской в формировании корневой системы в условиях техногенной среды, проявляющиеся в изменении показателя корненаасыщенности однометрового слоя почвы, длины корней, соотношения фракций корней и их распределения в почвенных горизонтах. Общая корненаасыщенность однометрового слоя почвы выше у ели колочей, но в условиях наиболее высокой техногенной нагрузки в примагистральных насаждениях этот показатель выше у ели европейской. В парковых насаждениях у обоих видов максимальная корненаасыщенность отмечена в первом почвенном горизонте, при увеличении же антропогенной нагрузки у ели европейской — во втором горизонте, а у ели колочей в третьем почвенном горизонте. Изменяется и доля различных фракций корней: у ели колочей возрастает доля полускелетных корней, а у ели европейской — скелетных, при максимальной нагрузке — полускелетных и всасывающих корней. У обоих видов растений отмечена тенденция увеличения длины корней в районах с высокой антропогенной нагрузкой.

Таким образом, существенное влияние на формирование корневой системы оказывают условия произрастания растений, имеют место и видовые особенности [19, 20].

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 19-34-60003 / 19 – Перспектива.

Список литературы

- [1] Масюк А.Н. Структурно-функциональная организация насаждений облепихи крушиновидной // Антропогенные воздействия на лесные экосистемы степной зоны. Днепропетровск: ДГУ, 1990. С. 101–112.
- [2] Калашникова И.В., Нагимов З.Я., Махнев А.К. Формирование фитомассы деревьев *Betula pendula* и *B. pubescens* в культурах дендрозонах и при самозарастании в условиях золоотвалов // Биологическая рекультивация и мониторинг нарушенных земель: Материалы IX Всерос. науч. конф. с междунар. участием, Екатеринбург, 20–25 августа 2012 г. Екатеринбург: Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, 2007. С. 464–477
- [3] Масюк А.Н. Влияние мощности отсыпки рекультивированного эдафотопы на структуру и продуктивность древостоя облепихи крушиновидной в условиях степи Украины // Биологическая рекультивация и мониторинг нарушенных земель: Материалы IX Всерос. науч. конф. с междунар. участием, Екатеринбург, 20–25 августа 2012 г. Екатеринбург: Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, 2007. С. 464–477.
- [4] Довганюк А.И., Довганюк Е.С. Формирование устойчивых напочвенных покровов в условиях мегаполиса // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2019. Т. 23. № 3. С. 13–20. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-3-13-20
- [5] Ганаба Д.В. Влияние экологических факторов на рост растений в городских агломерациях // Естественные и технические науки, 2015. № 5. С. 5.
- [6] Бухарина И.Л., Пашкова А.С., Ведерников К.Е., Ковальчук А.Г., Пашков Е.В. Биоэкологические особенности хвойных растений в условиях городской среды. Ижевск: Изд-во «Удмуртский университет», 2015. 152 с.
- [7] Стурман В.И., Малькова И.Л., Загребина Т.А. Климат города. Основные параметры // Воздушный бассейн Ижевска. Москва; Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2002. С. 16–23.
- [8] Vedernikov K., Bukharina I., Alekseenko A. Environmental assessment and the use of plants of the genus *Picea* forests of the city of Izhevsk // Australian J. Scientific Research, 2014, no. 1. (5). Vol. III. «Adelaide University Press», Adelaide, 2014, pp. 243–248.
- [9] Долгова Л.Н., Кречетова Н.В. Оляха помогает расти деревьям хвойных и лиственных пород // Лесные биологически активные ресурсы (березовый сок, живица, эфирные масла, пищевые, технические и лекарственные растения): материалы междунар. семинара, Хабаровск, 19–21 сентября 2001 г. Хабаровск: ККБ-ХКЦПЗ, 2001. С. 175–179.
- [10] Smit A.L., Bengough A.G., Engels C., van Noordwijk M., Pellerin S. and van de Geijn S.C. Root Methods: A Handbook Berlin Heidelberg, Springer Press, 2000, 587 p.
- [11] Bukharina I.L., Vedernikov K.E., Kamasheva A.A., Alekseenko A.S., Pashkov E.V. Ecological and biological features of Colorado Spruce (*Picea pungens* Engelm.) in urban environment // Advances in Environmental Biology, 2014, no. 8(13), pp. 367–371.
- [12] 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
- [13] Бухарина И.Л., Ведерников К.Е., Пашкова А.С. Морфофизиологические особенности деревьев ели в условиях Ижевска // Лесоведение, 2016. № 2. С. 96–106.

- [14] Vedernikov K.E. The content of extractives in wood species of the genus *Picea* // Chemistry of plant raw materials, 2018, no. 4, pp. 177–183.
- [15] 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, 2019, no. 17(3), pp. 6723–6734
- [16] San-Miguel-Ayanz J., de Rigo D., Caudullo G., Houston Durrant T., Mauri A. (Eds.). European Atlas of Forest Tree Species. Publication Office of the European Union, Luxembourg, 2016. DOI: 10.2788/038466
- [17] Liang J., Fang H., Hao G. Effect of Plant Roots on Soil Nutrient Distributions in Shanghai Urban Landscapes // American J. Plant Sciences, 2016, no. 7, pp. 296–305. DOI: 10.4236/ajps.2016.72029
- [18] Médéhouénou É.A., Kounouhéwa B.B., Koutchadé C. Dynamics of Water Flow in the Atmosphere-Aerial Roots Continuum // Open J. Fluid Dynamics, 2018, vol. 8, no. 4, pp. 404–4015
- [19] Хомич В.А. Экология городской среды. Омск: СибАДИ, 2002. 267 с.
- [20] Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И. Классификация и диагностика почв России. Смоленск, 2004. 342 с.

Сведения об авторах

Бухарина Ирина Леонидовна — д-р биол. наук, директор института гражданской защиты, ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет», г. Ижевск, Почетный работник сферы образования РФ, buharin@udmlink.ru

Пашкова Анна Сергеевна — канд. биол. наук, науч. сотр. ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет», annapashkova90@mail.ru

Поступила в редакцию 10.08.2020.

Принята к публикации 29.09.2020.

CONIFEROUS PLANTS ROOT SYSTEM FORMATION IN PLANTATIONS OF IZHEVSK (UDMURT REPUBLIC)

I.L. Bukharina, A.S. Pashkova

Udmurt State University, 1, Universitetskaya st., 426034, Izhevsk, Russia

buharin@udmlink.ru

A study of the root systems of tree species, their distribution in soil in horizontal and vertical directions, expressed by quantitative and qualitative indicators in the form of architectonics, underground phytomass, volume, surface, area and root saturation, answers many questions regarding the growth and development of tree plants. The growth conditions and species characteristics of plants have a significant effect on the formation of the root system. The studies were carried out in the large industrial center of the Ural region of Izhevsk in plantations of various environmental categories, i.e. plantings of the residential zone and plantings along the highways. As a zone of conditional control, a city park of landscape type named after S.M. Kirov. The objects of the study were coniferous species: the representative of the local flora such as European spruce (*Picea abies* L.) and the introduced species — Blue spruce (*Picea pungens* Engelm.), prevailing among the coniferous species used in the city's landscaping. In the course of the research, the peculiarities of *P. pungens* and *P. abies* in the formation of the root system in an anthropogenic environment were revealed, manifested in a change in the root saturation index of the meter soil layer, the length of the roots, the ratio of root fractions and their distribution in soil horizons. The total root saturation of a meter layer of soil is higher in *P. pungens*, but under the conditions of the highest technogenic load in the mainline stands, this indicator is higher in *P. abies*. In park plantings in both species, the maximum root saturation was noted in the first soil horizon, while the anthropogenic load in *P. abies* increased in the second horizon, and in *P. pungens* in the third soil horizon. The proportion of different root fractions also changes. *P. pungens* increases the proportion of semi-skeletal roots, *P. abies* increases skeletally, and in conditions of high anthropogenic load it makes half-skeleton and suction roots.

Keywords: nourishing, root system, roots, heavy metals, stability

Suggested citation: Bukharina I.L., Pashkova A.S. *Formirovanie kornevoy sistemy khvoynykh rasteniy v nasazhdeniyakh g. Izhevsk (Udmurtskaya respublika)* [Coniferous plants root system formation in plantations of Izhevsk (Udmurt Republic)]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 6, pp. 96–102.

DOI: 10.18698/2542-1468-2020-6-96-102

References

- [1] Masyuk A.N. *Strukturno-funktional'naya organizatsiya nasazhdeniy oblepikhi krushinovidnoy* [Structural and functional organization of buckthorn plantations of krushinovid] *Antropogennyye vozdeystviya na lesnye ekosistemy stepnoy zony* [Anthropogenic effects on forest ecosystems of the steppe zone]. Dnepropetrovsk: DSU, 1990, pp. 101–112.

- [2] Kalashnikova I.V., Nagimov Z.Ya., Makhnev A.K. *Formirovanie fitomassy derev'ev Betula pendula i B. pubescens v kul'turdendrotsenozakh i pri samozarastanii v usloviyakh zolotovalov* [Formation of phytomass of *Betula pendula* and *B. pubescens* trees in cultural dendrocenoses and during self-growth in conditions of ash dumps]. *Biologicheskaya rekul'tivatsiya i monitoring narushennykh zemel'*: Materialy IX Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem [Biological reclamation and monitoring of disturbed lands: materials of the International Scientific Conference], Ekaterinburg, 20–25 avgusta 2012 g. Ekaterinburg: Ural'skiy federal'nyy universitet im. pervogo Prezidenta Rossii B.N. El'tsina, 2007, pp. 464–477.
- [3] Masyuk A.N. *Vliyaniye moshchnosti otsypki rekul'tivirovannogo edafotopa na strukturu i produktivnost' drevostoya oblepikhi krushinovidnoy v usloviyakh stepi Ukrainy* [Influence of the capacity of backfilling of reclaimed edafotope on the structure and productivity of sea buckthorn in the conditions of the steppe of Ukraine]. *Biologicheskaya rekul'tivatsiya i monitoring narushennykh zemel'*: Materialy IX Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem [Biological reclamation and monitoring of disturbed lands: materials of the International Scientific Conference], Ekaterinburg, 20–25 avgusta 2012 g. Ekaterinburg: Ural'skiy federal'nyy universitet imeni pervogo Prezidenta Rossii B.N. El'tsina, 2007, pp. 464–477.
- [4] Dovganyuk A.I., Dovganyuk E.S. *Formirovanie ustoychivyykh napochvennykh pokrovov v usloviyakh megapolisa* [Stable ground cover formation in a metropolis]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2019, vol. 23, no. 3, pp. 13–20. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-3-13-20
- [5] Ganaba D.V. *Vliyaniye ekologicheskikh faktorov na rost rasteniy v gorodskikh aglomeratsiyakh* [Influence of environmental factors on plant growth in urban agglomerations]. [Natural and technical sciences], 2015, no. 5, p. 5.
- [6] Bukharina I.L., Pashkova A.S., Vedernikov K.E., Koval'chuk A.G., Pashkov E.V. *Bioekologicheskie osobennosti khvoynnykh rasteniy v usloviyakh gorodskoy sredy* [Bioecological features of coniferous plants in urban environments]. Izhevsk: Publishing House «Udmurt University», 2015, 152 p.
- [7] Sturman V.I., Mal'kova I.L., Zagrebina T.A. *Klimat goroda. Osnovnye parametry* [Climate of the city. Main parameters]. *Vozdushnyy basseyn Izhevsk* [Izhevsk Air Pool]. Moscow-Izhevsk: Institut komp'yuternykh issledovaniy [Institute of Computer Research], 2002, pp. 16–23.
- [8] Vedernikov K., Bukharina I., Alekseenko A. Environmental assessment and the use of plants of the genus *Picea* forests of the city of Izhevsk. *Australian J. Scientific Research*, 2014, no.1. (5). Vol. III. «Adelaide University Press», Adelaide, 2014, pp. 243–248.
- [9] Dolgova L.N., Krechetova N.V. *Ol'kha pomogaet rasti derev'yam khvoynnykh i listvennykh porod* [Alder helps grow trees of coniferous and deciduous species]. *Lesnye biologicheski aktivnyye resursy (berezovyy sok, zhivitsa, efirnye masla, pishchevye, tekhnicheskije i lekarstvennyye rasteniya): materialy mezhdunarodnogo seminar* [Forest biologically active resources: materials of the international seminar]. Khabarovsk, 19–21 sentyabrya 2001 g. Khabarovsk: KKB-KhKTsPZ, 2001, pp. 175–179.
- [10] Smit A.L., Bengough A.G., Engels C., van Noordwijk M., Pellerin S. and van de Geijn S.C. *Root Methods: A Handbook* Berlin Heidelberg, Springer Press, 2000, 587 p.
- [11] Bukharina I.L., Vedernikov K.E., Kamasheva A.A., Alekseenko A.S., Pashkov E.V. Ecological and biological features of Colorado Spruce (*Picea pungens* Engelm.) in urban environment. *Advances in Environmental Biology*, 2014, no. 8(13), pp. 367–371.
- [12] Zavalishin S.I., Karelina V.S., Orlov A.V., Patrushev V.Yu. *Biokhimicheskiy potentsial postpirogennykh dermovo-podzolistykh pochv lentochnykh i priobskikh borov Altayskogo kraya* [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
- [13] Bukharina I.L., Vedernikov K.E., Pashkova A.S. *Morfofiziologicheskie osobennosti derev'ev eli v usloviyakh Izhevsk* [Morphophysiological features of trees ate in Izhevsk]. *Lesovedenie [Forestry]*, 2016, no. 2, pp. 96–106.
- [14] Vedernikov K.E. The content of extractives in wood species of the genus *Picea*. *Chemistry of plant raw materials*, 2018, no. 4, pp. 177–183.
- [15] 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*, 2019, no. 17(3), pp. 6723–6734
- [16] San-Miguel-Ayanz J., de Rigo D., Caudullo G., Houston Durrant T., Mauri A. (Eds.). *European Atlas of Forest Tree Species*. Publication Office of the European Union, Luxembourg, 2016. DOI: 10.2788/038466
- [17] Liang J., Fang H., Hao G. Effect of Plant Roots on Soil Nutrient Distributions in Shanghai Urban Landscapes. *American J. Plant Sciences*, 2016, no. 7, pp. 296–305. DOI: 10.4236/ajps.2016.72029
- [18] Médéhouéou E.A., Kounouhéwa B.B., Koutchadé C. Dynamics of Water Flow in the Atmosphere-Aerial Roots Continuum. *Open J. Fluid Dynamics*, 2018, vol. 8, no. 4, pp. 404–4015
- [19] Khomich V.A. *Ekologiya gorodskoy sredy* [Ecology of the urban environment]. Omsk: SibADI, 2002, 267 p.
- [20] Shishov L.L., Tonkonogov V.D., Lebedeva I.I., Gerasimova M.I. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii* [Classification and diagnosis of soils of Russia]. Smolensk, 2004, 342 p.

Authors' information

Bukharina Irina Leonidovna — Dr. Sci. (Biology), Director of the Institute of Civil Protection, Udmurt State University, Izhevsk, Honorary Worker of Education of the Russian Federation, buharin@udmlink.ru

Pashkova Anna Sergeevna — Cand. Sci. (Biology), Researcher of the Udmurt State University, Izhevsk, annapashkova90@mail.ru

Received 10.08.2020.

Accepted for publication 29.09.2020.

ДРЕВЕСИНА КАК ХИМИЧЕСКОЕ СЫРЬЕ. ИСТОРИЯ И СОВРЕМЕННОСТЬ II. АНАТОМИЯ ДРЕВЕСИНЫ КАК ФАКТОР ЕЕ ХИМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ

Г.Н. Кононов, В.Д. Зайцев

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

kononov@mgul.ac.ru

Проанализирована история изучения анатомии и морфологии древесных растений. Рассмотрены особенности строения основных анатомических элементов, свойственных древесине лиственных и хвойных древесных пород. Приведены сведения о влиянии особенности строения анатомических элементов на свойства волокнистых полуфабрикатов и получаемых из них различных видов бумаги и картона. Показано влияние строения древесины различных пород на свойство углей, получаемых в результате их пиролиза. Охарактеризованы особенности процессов проникновения жидких реагентов в древесину как природную гетерокапиллярную систему.

Ключевые слова: древесина, сердцевина, ядро, заболонь, луб, анатомические элементы, клеточные стенки

Ссылка для цитирования: Кононов Г.Н., Зайцев В.Д. Древесина как химическое сырье. История и современность. II. Анатомия древесины как фактор ее химической активности // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 6. С. 103–112. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-6-103-112

*«Древесина представляет сложное вещество, как в анатомическом, так и в химическом отношении»
Л. Уайз, 1926 г.*

В химических технологиях переработки древесины большое внимание традиционно уделялось особенностям строения и функциональной активности соединений, образующих клеточную стенку. Однако активность древесинного вещества в различных химико-технологических процессах обусловлена не только химическим строением компонентов лигноуглеводного комплекса, но и особенностями анатомического строения растительных тканей.

Анатомическое строение растений интересовало человека издавна. Современник Платона и Аристотеля — древнегреческий философ Теофраст — впервые описал анатомическое строение стеблей растительных организмов, охарактеризовав их макростроение и выделив сердцевину, древесину и кору.

Дальнейшие исследования строения растений продолжились только с изобретением микроскопа, что позволило подробнее изучить древесные ткани и их клеточное строение. Впервые наличие клеток зафиксировал английский физик Р. Гук, который в труде «Микрография или физиологическое описание мельчайших тел, исследованных с помощью мельчайших стекол», опубликованной в 1665 г., описал пробковые ткани, исследованные с помощью сконструированного им же микроскопа, при этом обнаружив полости в их структурах, которые назвал клетками.

Основоположниками анатомии растений как науки являются итальянский ученый М. Мальпиги и английский ученый Н. Грю. Оба, работая

самостоятельно, представили доклады по анатомии растений в Лондонском королевском обществе в 1671 г. М. Мальпиги описал строение коры, стебля, ветвей, почек и т. д., а также строение и форму сосудов, названных им трахеями. Н. Грю ввел в научный оборот термин «растительная ткань», разделив клетки и ткани на прозенхимные (от греч. *proton* — возле и *enchyma* — налитое, наполняющее) и паренхимные (от греч. *para* — рядом) [1].

Цель работы

Продолжение рассмотрения методов компонентного анализа лигноуглеводного комплекса древесины на историческом фоне изучения химического строения ее основных компонентов [2].

Клеточные элементы древесины

В начале XIX в. в связи с совершенствованием микроскопической техники познания в анатомии растений продвинулись вперед. К настоящему времени строение древесных растений изучено достаточно подробно и многие накопленные знания являются неоспоримыми.

Основными клеточными элементами древесины хвойных древесных растений являются трахеиды. Трахеиды (от лат. *tracheia* — дыхательное горло) — вытянутые прозенхимные клетки со слегка суженными и обычно тупыми окончаниями. Трахеиды представляют собой продольную систему древесины, а на торцевых срезах они располагаются концентрическими рядами — годичными кольцами, представляющими собой

продолжение таких же рядов клеток камбиальной зоны [3]. Живые паренхимные клетки в хвойной древесине немногочисленны, так как хвойные породы накапливают часть питательных веществ в хвое. Паренхимные клетки представляют собой округлые или многогранные тонкостенные клеточные элементы, составляющие основу сердцевинных лучей (лучевая паренхима), сердцевины, камбия, прикамбиальной зоны и луба (вертикальная паренхима). К живым клеткам относятся эпителиальные клетки, выстилающие внутреннюю поверхность таких образований, как смоляные ходы, и продуцирующие физиологическую смолу. Смоляные ходы характерны только для хвойных древесных пород, в лиственных их нет. Различают вертикальные и горизонтальные смоляные ходы, последние иногда располагаются в многорядных сердцевинных лучах. Смоляные ходы заполнены физиологической смолой, выполняющей роль антисептика при ранении дерева.

Древесина лиственных пород в отличие от древесины хвойных пород состоит из большого количества анатомических элементов и их переходных форм, расположенных менее упорядоченно. Проводящую функцию у лиственных пород выполняют в первую очередь сосуды, а также трахеиды (волокнистые или сосудистые).

Сосуды — специализированные водопроводящие элементы, занимают довольно большую часть объема ствола [4]. Сосуды представляют собой длинные вертикальные трубки, состоящие из члеников — отдельных коротких клеток с широкими полостями и тонкими стенками [5]. Анатомические элементы лиственных пород трансформировались из анатомических элементов древних голосеменных растений, их отличительной особенностью является наличие таких специализированных водопроводящих элементов, как сосуды [6]. Сосуды образовались путем срастания нескольких трахеид с последующим исчезновением клеточных стенок между ними. Внутри сосудов иногда образуются выросты — тиллы, содержащие большое количество таннинов. Промежуточным элементом между трахеидой и сосудом принято считать сосудистую трахеиду — неперфорированную клетку с признаками и механического волокна, и сосуда [7]. Сосудистые трахеиды — элементы, которые являются переходной формой между типичными трахеидами и сосудами и содержатся в древесине в небольшом количестве, но обнаруживаются не у всех пород.

Волокна либриформа (от лат. «libri» — лыко и «forma» — вид) образуют механическую ткань, занимая наибольшую долю древесины ствола лиственных пород. Представляя собой типичные клетки древесины лиственных, они в процессе

эволюционного развития образовались из трахеид голосеменных древесных растений. В этом эволюционном процессе совершенно отчетливо прослеживаются два направления: 1) утолщение клеточных стенок; 2) увеличивающаяся редукция окаймленных пор в них [7].

Паренхимных клеток в лиственной древесине значительно больше, чем в хвойной (иногда более 30 %) и сосредоточены они в основном в сердцевинных лучах. В древесине тропических лиственных пород иногда присутствуют образования, называемые камедными ходами (аналогичные смоляным ходам хвойных), полости которых заполнены веществами углеводного характера — камедями.

Основные анатомические элементы хвойных и лиственных древесных растений представлены на рис. 1 и 2 [4], а их характеристики в табл. 1–3 [8].

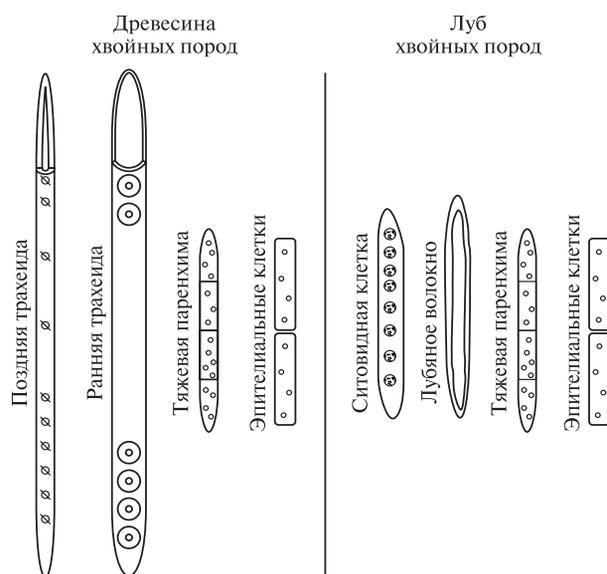


Рис. 1. Основные анатомические элементы хвойных пород
Fig. 1. The main anatomical elements of conifers

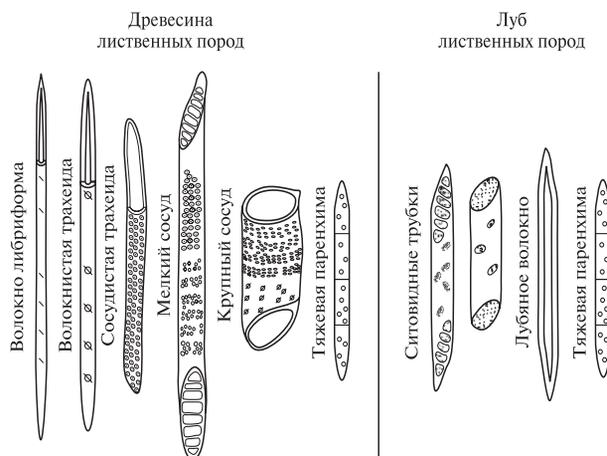


Рис. 2. Основные анатомические элементы древесины лиственных пород
Fig. 2. The main anatomical elements of hardwood

Т а б л и ц а 1

Содержание анатомических элементов древесины относительно объема (%)

The content of the anatomical elements of wood by volume, %

Анатомические элементы		Хвойная древесина		Лиственная древесина	
		пределы колебаний	среднее значение	пределы колебаний	среднее значение
Волокна	трахеиды	89...96	92	–	–
	волокна либриформа	–	–	36...76	56
Сосуды		–	–	10...34	22
Сердцевинные лучи		5...7,5	6,2	11...28	15
Вертикальная паренхима		1...2	1,3	2...12	7
Смоляные ходы		0,1...0,9	0,5	–	–

Т а б л и ц а 2

Содержание анатомических элементов древесины относительно площади поперечного сечения (%)

The content of anatomical elements of wood from the cross-sectional area, %

Вид	Волокна	Сосуды	Сердцевинные лучи	Вертикальная паренхима	Смоляные ходы
Ель европейская	95,3	–	4,7	–	0,5
Сосна обыкновенная	93,1	–	5,5	1,4	0,5
Береза бородавчатая	64,8	24,7	10,5	–	–
Осина	60,9	26,4	12,7	–	–
Дуб черешчатый	44,3	39,5	16,2	–	–
Бук европейский	37,4	31,0	27,0	4,6	–
Хлопковое дерево	29,7	7,7	21,3	41,3	–

Примечание. Максимальные значения величин выделены жирным шрифтом.

Т а б л и ц а 3

Размеры анатомических элементов древесины

Dimensions of anatomical elements of wood

Вид	Трахеиды		Волокна либриформа		Членики сосудов	
	длина, мм	ширина, мкм	длина, мм	ширина, мкм	длина, мм	ширина, мкм
Ель европейская	3,4 (1,1...6,0)	31 (21...40)	–	–	–	–
Сосна обыкновенная	3,1 (1,8...4,5)	35 (14...46)	–	–	–	–
Береза бородавчатая	–	–	1,2 (0,8...1,6)	28 (20...36)	0,84	–
Осина	–	–	1,0 (0,4...1,9)	18 (10...27)	0,67	–
Секвойя гигантская	6,1 (2,9–9,3)	57 (50–65)	–	–	–	–
Нисса лесная	–	–	1,8 (0,8...2,7)	26 (20...32)	1,11	–
Ликвидамбар смолоносный	–	–	1,7 (1,0...2,5)	30 (20...40)	1,32	–
Дуб скальный	–	–	1,1 (0,6...1,6)	20 (10...30)	0,2	(15...500)

Стенки прозенхимных клеточных элементов и хвойных (трахеиды), и лиственных (волокна либриформа, членики сосудов) не являются сплошными, в них присутствуют отверстия округлой

или щелевидной формы (простые поры), либо отверстия с клапаном, т. е. окаймленные поры. Окаймленная пора — это камера, внутри которой на пористой мембране (маргинальная зона)

расположен клапан (торус), закрывающий поочередно отверстия (порус) с одной или с другой стороны, уравнивая давление жидкости между соседними клетками.

Анатомия коры

Строение коры коренным образом отличается от строения древесины. Большинство клеток луба — живые. В их состав входят ситовидные клетки, ситовидные трубки и паренхимные клетки округлой формы.

В лубе проводящими элементами являются относительно узкие ситовидные клетки, с заостренными концами, расположенные вертикальными рядами. В листовых породах аналогичную функцию выполняют ситовидные трубки, состоящие из отдельных элементов. Стенки ситовидных клеток и элементов ситовидных трубок перфорированы, поперечные перегородки элементов ситовидных трубок (ситовидные пластинки) имеют крупные поры. Ситовидные клетки и элементы ситовидных трубок — это живые клетки с плазматическим содержимым, но без ядра. Содержимое клеток связано тонкими плазматическими нитями (плазмодесмами), которые проходят через поры.

Паренхимные клетки округлой формы образуют основную массу ткани флоэмы. Они образуют как вертикальную, так и лучевую паренхиму. Лубяные лучи являются непосредственным продолжением сердцевинных лучей и выполняют функцию проведения продуктов метаболизма в радиальном направлении. На некотором расстоянии от камбия радиальное расположение лучей нарушается, они принимают волнистый вид, и в результате увеличения числа клеток могут расширяться и во внешней части луба принимать аркообразную форму.

Луб хвойных пород пронизывают смоляные ходы, окруженные эпителиальными клетками.

К прозенхимным клеткам луба относятся лубяные волокна, представляющие собой длинные (1...3 мм) толстостенные клетки с заостренными перекрывающимися друг друга концами, которые располагаются тангенциальными рядами, и каменистые клетки (склереиды) многогранной формы. Луб хвойных пород содержит значительно меньше лубяных волокон (пихта — 5 %), чем каменистых клеток (сосна — 26 %). Луб, листовых пород более однороден по содержанию — лубяных волокон (ива — 23 %) и каменистых клеток (бук — 24 %). В лубе заметны сезонные изменения размеров клеток, аналогичные образованию ранней и поздней древесины, и временные, связанные с их старением, подобно образованию ядровой древесины. Стенки лубяных волокон в основном состоят из целлюлозы и гемицеллюлоз.

Внешний слой коры (корка) представляет собой в основном мертвую ткань, для которой

характерно сплющивание ситовидных клеток и трубок и расширение клеток вертикальной паренхимы. Этот процесс называется облитерацией. Облитерированную флоэму прерывают имеющие неправильную форму слои перидермы, которая содержит вновь образовавшиеся камбиальные клетки. Перидерма состоит из трех слоев: пробкового камбия — феллогена, феллемы — слоя пробковых клеток, образованных феллогеном с внешней стороны, феллодермы — слоя клеток, в том числе и паренхимных, образованных феллогеном с внутренней стороны. Стенки пробковых клеток тонкие и состоят из трех слоев: наружного лигнифицированного, внутреннего целлюлозного и срединного, содержащего специфические для пробковой ткани вещества — суберин, таннины, а в полостях весенних клеток корки березы содержится мелкозернистое вещество белого цвета — бетулин (лат. *Betula* — береза) [8].

Лигнификация клеточной стенки и ее строение

Характерная особенность растительных клеток — рост путем растяжения — связана с наличием способной к растяжению прочной оболочки и центральной вакуоли, объем которой в процессе жизнедеятельности может многократно увеличиваться. Это приводит к образованию чрезвычайно вытянутых в одном направлении прозенхимных клеток. Их длина превышает диаметр в десятки, а иногда и в сотни раз. В процессе роста таких клеток наряду с увеличением их длины происходит утолщение их клеточной оболочки за счет отложения в них продуктов метаболизма, в том числе и гидрофобного характера (в первую очередь лигнина). Лигнификация клеточной оболочки обуславливает постепенное отмирание прозенхимной клетки, превращая ее в древесное волокно со сложным слоистым строением клеточной стенки.

С помощью электронного микроскопа была открыта тонкая структура клеточных стенок древесных клеток (рис. 3). На ранней стадии развития клетки — сразу после ее деления и в период роста — протоплазма находится внутри тонкой оболочки, называемой первичной стенкой (*P*). Ее толщина в сухом состоянии не превышает 30 нм, а в природном (набухшем) — 100 нм, но многократно увеличивается в процессе роста клетки.

Межклеточное вещество, соединяющее соседние клетки после прекращения их роста в древесную ткань, носит название истинной срединной пластинки (*M*). В связи с незначительной толщиной первичных стенок даже мертвых клеток и истинной срединной пластинки между ними их часто рассматривают вместе и называют сложной срединной пластинкой (*P + M + P*) (см. рис. 3).

По окончании роста клетки ее стенка утолщается в результате откладывания продуктов биосинтеза во вторичную стенку (S). Вторичная стенка состоит из трех слоев: S_1 — наружного, S_2 — среднего и S_3 — внутреннего, отличающихся оптическими свойствами и толщиной (табл. 4).

Межклеточное вещество истинной срединной пластинки имеет однородную структуру и состоит преимущественно из лигнина. Первичная и слои вторичной стенки построены из разнонаправленных целлюлозных волоконцев (фибрилл). Промежутки между ними заполнены гемицеллюлозами и лигнином. Очень тонкая третичная стенка (и гранулярный слой) образуется при отмирании протопласта, и содержит вещество, находящиеся в нем.

Анатомия древесины и ее химико-технологические свойства

Анатомическая структура используемой древесины оказывает влияние на свойства получаемых из нее волокнистых полуфабрикатов, а значит, на свойства бумаги и картона, изготовляемых на их основе.

С производством волокнистых полуфабрикатов неразрывно связана диффузия различных реагентов в толщу клеточной стенки древесины. На скорость варочных процессов при получении целлюлозы оказывает большое влияние анатомическая структура древесины и морфология древесных волокон.

Первоначальное проникновение варочных растворов в древесину происходит через открытые концы люменов перерезанных анатомических элементов, главным образом трахеид у хвойной и сосудов у лиственной древесины, находящихся на поверхности щепы. Дальнейшее распространение растворов в полости глубже расположенных трахеид у хвойных осуществляется через окаймленные поры, чему способствуют также смоляные ходы и сердцевинные лучи.

Наблюдая за морфологическими изменениями в процессе варки древесины исследователи [10] приходят к выводу о том, что в результате воздействия сульфитной варочной кислоты прежде всего разрушается истинная срединная пластинка, о чем свидетельствует ее набухание и более быстрая по сравнению со слоями клеточной стенки делигнификация.

Микроскопическое исследование В. Бюхнера [10] позволило ему сделать вывод о том, что при сульфитной варке делигнификация в сложной срединной пластинке происходит интенсивнее, чем во вторичной стенке. В сульфатной же целлюлозе, полученной из хвойной древесины, обнаружено значительное количество равномерно распределенного в клеточной стенке остаточного лигнина.

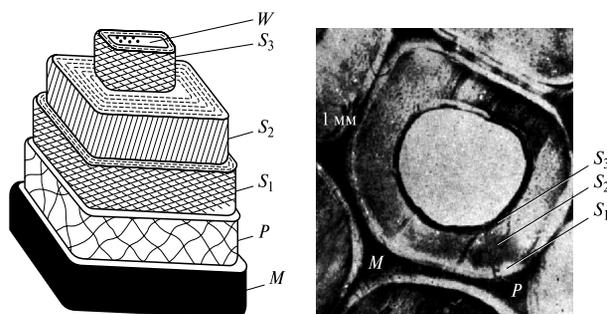


Рис. 3. Схема строения и микрофотография клеточной стенки древесной клетки [9]: M — срединная пластинка; P — первичная оболочка; S_1 — наружный слой вторичной оболочки; S_2 — средний слой вторичной оболочки; S_3 — внутренний слой вторичной оболочки; W — наросты

Fig. 3. Scheme of the structure and micrograph of the cell wall of a wood cell [9]: M — middle plate; P — primary shell; S_1 — outer layer of the secondary shell; S_2 — middle layer of the secondary shell; S_3 — inner layer of the secondary shell; W — growths

Т а б л и ц а 4

Толщина и соотношение слоев стенок весенних трахеид ели

Thickness and ratio of wall layers of spring tracheids of spruce

Слой	Толщина, мкм	Соотношение (%) слоев, %
P	0,23...0,34	7,0...14,2
S_1	0,12...0,35	5,2...10,8
S_2	1,77...3,68	73,3...84,0
S_3	0,1...0,15	2,7...4,2

В результате различных условий варки сульфатная и сульфитная целлюлозы отличаются распределением остаточного лигнина в волокнах. Как отмечает Ю.Н. Непенин [17], у сульфатной целлюлозы как лигнин, так и гемицеллюлозы распределены равномерно по толщине клеточной стенки волокна и относительно трудно доступны, чем и объясняется сложность отбеливания, плохая реакционная способность и нелегкий размол сульфатной целлюлозы. У сульфитной целлюлозы остаточный лигнин и гемицеллюлозы сосредоточены в наружном слое вторичной стенки и поэтому более доступны действию химических реагентов и механическому воздействию при размолу (рис. 4, 5) [11].

Различия в бумагообразующих свойствах технических целлюлоз, полученных делигнификацией древесины, обусловлены прежде всего особенностями их морфологического строения и размерами волокон. Важной характеристикой волокон, влияющих на прочностные свойства целлюлозы является их гибкость. О ней можно косвенно судить по отношению длины волокна к ширине [12].

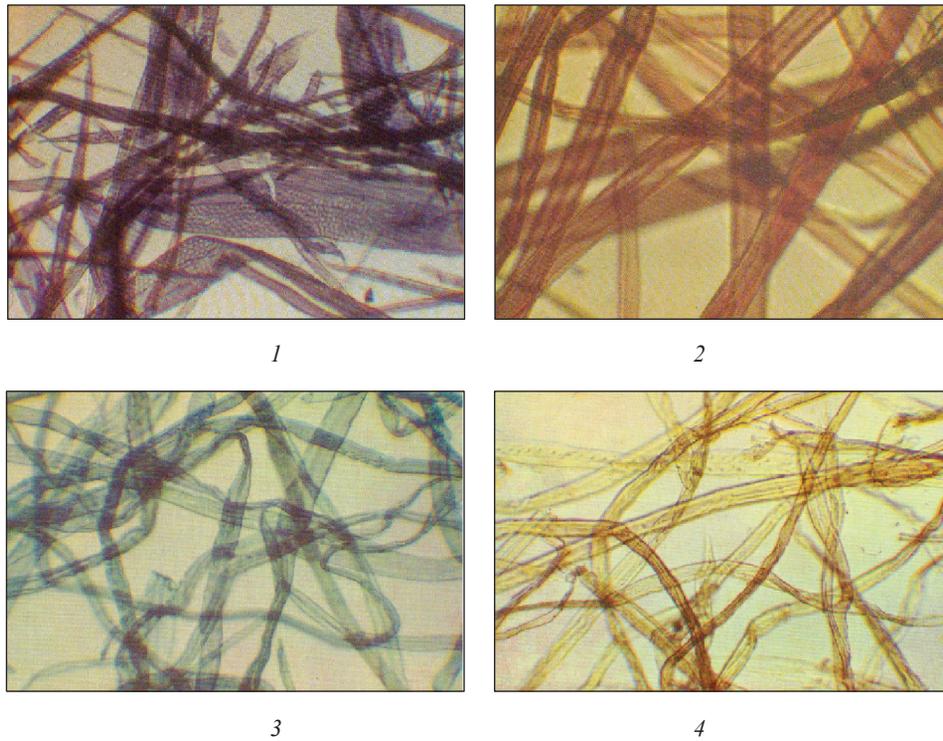


Рис. 4. Микрофотографии волокон целлюлозы: 1 — сульфатная небеленая лиственная; 2 — сульфитная небеленая лиственная; 3 — сульфатная беленая хвойная; 4 — сульфатная беленая хвойная

Fig. 4. Micrographs of cellulose fibers: 1 — sulfate unbleached deciduous; 2 — sulfite unbleached deciduous; 3 — sulfate bleached coniferous; 4 — sulfate bleached coniferous

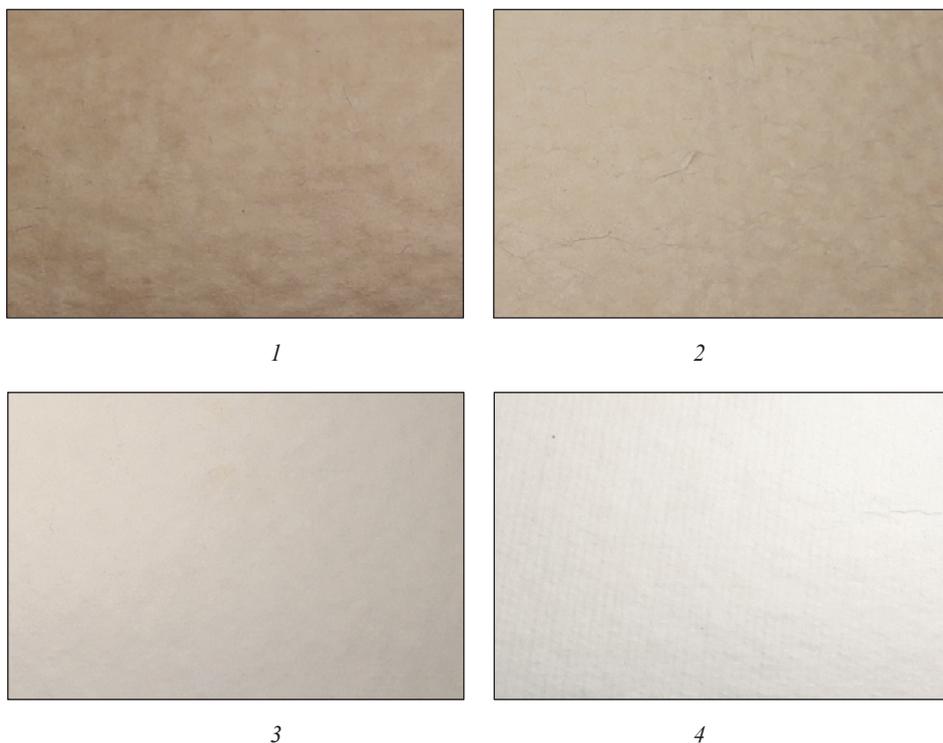


Рис. 5. Внешний вид целлюлозы смешанных пород: 1 — сульфатная небеленая; 2 — сульфитная небеленая; 3 — сульфатная беленая; 4 — сульфатная беленая

Fig. 5. The appearance of cellulose mixed rocks: 1 — sulfate unbleached; 2 — sulfite unbleached; 3 — sulfate bleached; 4 — sulfate bleached

Волокна трубчатого строения способствуют получению пухлых видов бумаги, обладающих повышенной впитывающей способностью. Из волокон ленточного строения обычно получается плотная прочная бумага с сомкнутой поверхностью. Кроме того, такие волокна, даже не размолотые, позволяют получить бумагу с относительно высокими показателями механической прочности. Целлюлоза с трубчатым строением требует больше времени фибриллирования волокон. Толстостенные волокна (толщина стенки 6...8 мкм) легче фибриллируются, а тонкостенные (1,5...2 мкм) более подвержены поперечной рубке.

Волокна твердых лиственных пород древесины, как правило, обеспечивают непрозрачность, пухлость, воздухопроницаемость и впитывающую способность бумаги. Волокна мягких лиственных пород, наоборот, придают бумаге относительно более высокую прозрачность, плотную структуру и высокие показатели сопротивления разрыву.

Волокна большинства лиственных пород при размоле достаточно хорошо сохраняют трубчатую форму в отличие от хвойных, которые становятся плоскими и похожими на ленту, поэтому они придают пухлость бумажному листу.

Главная особенность лиственной целлюлозы — наличие сосудов. Они обладают пониженной прочностью, имеют повышенную жесткость и характеризуются небольшой способностью к сцеплению. В связи с этим при формировании бумажного листа связь волокно — сосуд является довольно слабой, а находящиеся на поверхности частицы сосудов могут с легкостью оторваться от поверхности бумаги, что создает трудности при прохождении бумаги через печатные формы [12].

Пиролиз древесины — это разложение ее основных компонентов под действием высоких температур без доступа кислорода воздуха. В результате подобного воздействия на компоненты лигнотуголеводного комплекса образуется твердый остаток, жидкие и газообразные продукты. Влияние анатомической структуры связано с удалением продуктов распада из зоны пиролиза. При обуглероживании парогазовая смесь из внутренних слоев клеточной стенки движется наружу через полости таких анатомических элементов, как сердцевинные лучи, сосуды, смоляные ходы и т. д. Если рассматривать этот процесс на примере пиролиза древесины сосны и ели, то при прочих равных условиях, уголь из сосны получается более прочным и более качественным, чем еловый. Сердцевинные лучи и смоляные ходы у сосны крупнее, чем у ели, поэтому при пиролизе древесины сосны образующиеся парогазовые продукты легко удаляются из внутренних слоев

древесины, не оказывая заметного давления на стенки клеточных элементов. Для древесины ели этот нежелательный эффект можно избежать с помощью нанесения отверстий на исходной древесной заготовке (рис. 6, 7) [13].

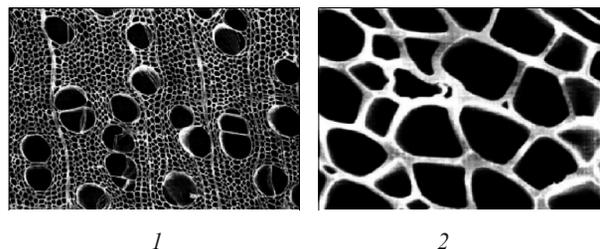


Рис. 6. Микрофотографии древесного угля из березы [14]: 1 — при увеличении 200×; 2 — при увеличении 2000×

Fig. 6. Micrographs of birch charcoal [14]: 1 — with an increase in 200×; 2 — with an increase of 2000×

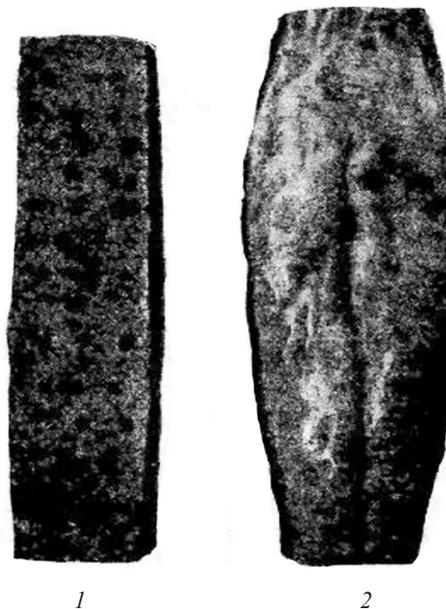


Рис. 7. Внешний вид елового угля, полученного с отверстиями (1) и без отверстий (2) [14]

Fig. 7. Appearance of spruce coal obtained with holes (1) and without holes (2) [14]

Анатомическая структура оказывает также влияние на массоперенос и скорость извлечения экстрактивных веществ из древесины. Так, через единицу площади поперечного сечения массоперенос массы смолистых веществ в 8–9 раз больше, чем через единицу площади боковой поверхности. Скорость извлечения канифоли из торцевой поверхности в 5 раз больше, чем через тангенциальную поверхность, и в 16 раз больше, чем через радиальную [15].

Ядровая древесина лиственных пород менее проницаема, чем заболонная, поскольку сосуды в ней часто перекрыты тилловыми наростами, выступающими через капилляры клеточных стенок.

В ядровой части древесины хвойных пород поры клеточных стенок трахеид часто засмолены или лигнифицированы, вследствие чего проницаемость древесины часто ухудшается. Ранняя древесина, имеющая более широкие люмены и более тонкие перфорированные стенки клеток, пропитывается лучше, чем поздняя.

В живом древесном растении вода с растворенными в ней соединениями движется вдоль ствола, значит, древесина лучше всего приспособлена для проведения воды вдоль ствола. Капиллярная система может быть эффективной для сквозного проведения жидкости поперек волокон в том случае, когда она является достаточно крупной и преодоление в ней сил поверхностного натяжения возможно небольшим внешним давлением. В древесине с более мелкой капиллярной системой происходит глубокое увлажнение образца за счет сил капиллярного поднятия, но преодолеть эти силы небольшое внешнее давление не может.

Микроскопические исследования подтверждают наиболее активное участие сердцевинных лучей, трахеид поздней зоны годичных слоев и горизонтальных смоляных ходов в проведении растворов окрашенных веществ. Вблизи к увлажняемой поверхности окрашиваются почти все ранние и поздние трахеиды, затем начинают встречаться неокрашенные участки трахеид, а далее оказываются окрашенными лишь сердцевинные лучи, которые являются наиболее активными проводниками [16].

Продвижение воды в древесине ядра как вдоль, так и поперек волокон оказывается затруднительным по сравнению с продвижением в древесине заболони. В некоторых лиственных породах эта разница объясняется тиллообразованием. У хвойных, как известно, тиллообразование отсутствует, однако у них есть открытые поры в трахеидах заболони и закрытые — в трахеидах ядра. Влияние анатомического строения древесины на ее проницаемость — важный фактор, влияющий на интенсивность тех или иных технологических процессов химической и механической переработки древесины, в частности гидротермическую обработку, пропитывание, модифицирование, пьезотермическую обработку и т. д. [16–21].

Выводы

1. Древесина лиственных и хвойных пород обладает системой разнообразных анатомических элементов, выполняющих различные функции.

2. Анатомическое строение древесины характеризуется некоторыми особенностями, влияющими на получение из нее различных полупродуктов.

3. Проницаемость древесины различных пород является следствием ее анатомического строения и имеет важное значение в технологических процессах.

Список литературы

- [1] Косиченко Н.Е. История анатомии древесины и коры. Воронеж: ВГЛТА, 2002. 76 с.
- [2] Кононов Г.Н., Зайцев В.Д. Древесина как химическое сырье: история и современность. I. Лигноуглеводный комплекс древесины как объект изучения // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 1. С. 74–89. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-1-74-89
- [3] Лотова Л.И. Ботаника: Морфология и анатомия высших растений. М.: ЛЕНАНД, 2018. 512 с.
- [4] Леонтьев Л.Л. Древесиноведение и лесное товароведение. СПб.: Лань, 2017. 416 с.
- [5] Уголев Б.Н. Древесиноведение и лесное товароведение. М.: МГУЛ, 2007. 351 с.
- [6] Атлас древесины и волокон для бумаги / Под ред. Е.С. Чавчавадзе. М.: Ключ, 1992. 336 с.
- [7] Жизнь растений. В 6 т. Т. IV. Мхи, плауны, хвощи, папоротники, голосеменные растения / Под ред. А.А. Федорова. М.: Просвещение, 1978. 447 с.
- [8] Кононов Г.Н. Дендрохимия. Химия, нахождение и биохимия компонентов клеток, тканей и органов древесных растений. В 2-х т. Т. I. М.: МГУЛ, 2015. 480 с.
- [9] Химия древесины / под ред. М.А. Иванова. М.: Лесная промышленность, 1982. 400 с.
- [10] Бейнарт И.И., Ведерников Н.А. Клеточная стенка древесины и ее изменения при химическом воздействии. Рига: Зинатне, 1972. 510 с.
- [11] Бобров А.И., Мутовина М.Г., Бондарева Т.А., Малышкина В.К. Производство волокнистых полуфабрикатов из лиственной древесины. М.: Лесная пром-сть, 1984. 248 с.
- [12] Фляте Д.М. Свойства бумаги. СПб.: Лань, 2012. 384 с.
- [13] Бронзов О.В., Уткин Г.К., Кислицын А.Н., Морозова О.В., Василевская С.И. Древесный уголь. Получение, основные свойства, области применения древесного угля. М.: Лесная пром-сть, 1979. 137 с.
- [14] Юрьев Ю.Л. Древесный уголь. Справочник. Екатеринбург: Сократ, 2007. 184 с.
- [15] Выродов В.А., Кислицын А.Н., Глухарева М.И. Технология лесохимических производств. М.: Лесная пром-сть, 1987. 352 с.
- [16] Баженов В.А. Проницаемость древесины жидкостями и ее практическое значение. М.: Издательство академии наук СССР, 1952. 93 с.
- [17] Непенин Н.Н., Непенин Ю.Н. Технология целлюлозы. В 3-х т. Том 3. Очистка, сушка и отбелка целлюлозы. Прочие способы получения целлюлозы. М.: Экология, 1994. 592 с.
- [18] Аксенов П.А. Метаболическая активность и гистометрические характеристики структурных элементов древесины // Лесной комплекс в цифровой экономике. Тезисы докладов международного симпозиума, МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2–5 декабря 2019 г. 2019. С. 60–61.
- [19] Мануковский А.Ю., Курдюков Р.П., Насонова Ю.Ю. Процессы Водопоглощения Древесины // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика, 2014. Т. 2. № 2–3 (7–3). С. 98–102.
- [20] Гриб В.М. Особенности строения корневых систем сосны обыкновенной и их влияние на качество лесовосстановления // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал, 2015. № 2 (344). С. 37–49.
- [21] Снегирева С.Н., Плехина Н.А., Елфимов И.С. Влияние условий произрастания на микроструктуру древесины кольцесосудистых пород // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2017. Т. 5. № 1 (27). С. 108–112.

Сведения об авторах

Кононов Георгий Николаевич — канд. техн. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), чл.-кор. РАЕН, уч. секретарь секции «Химия и химическая технология древесины» РХО им. Д.И. Менделеева, kononov@mgul.ac.ru

Зайцев Владислав Дмитриевич — аспирант МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), kelertak@bk.ru

Поступила в редакцию 31.08.2020.

Принята к публикации 30.09.2020.

WOOD AS A CHEMICAL RAW MATERIAL. HISTORY AND MODERNITY

II. WOOD ANATOMY AS A FACTOR OF ITS CHEMICAL ACTIVITY

G.N. Kononov, V.D. Zaytsev

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

kononov@mgul.ac.ru

The article is devoted to the history of studying the anatomy and morphology of woody plants, structural features of the basic anatomical elements inherent in deciduous and coniferous wood. Information is provided on the influence of the structural features of anatomical elements on the properties of fibrous semi-finished products and various types of paper and cardboard obtained from them. The influence of the wood structure of various species on the property of coals obtained as a result of their pyrolysis is shown. The features of the processes of penetration of liquid reagents into wood as a natural heterocapillary system are considered.

Keywords: wood, heart, core, sapwood, bast, anatomical elements, cell walls

Suggested citation: Kononov G.N., Zaytsev V.D. *Drevesina kak khimicheskoe syr'e. Istoriya i sovremennost'. II. Anatomiya drevesiny kak faktor ee khimicheskoy aktivnosti* [Wood as a chemical raw material. History and modernity. II. Wood anatomy as a factor of its chemical activity]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 6, pp. 103–112. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-6-103-112

References

- [1] Kosichenko N.E. *Istoriya anatomii drevesiny i kory* [The history of the anatomy of wood and bark]. Voronezh: VGLTA, 2002, 76 p.
- [2] Kononov G.N., Zaitsev V.D. *Drevesina kak khimicheskoe syr'e: istoriya i sovremennost'. I. Lignouglevodnyy kompleks drevesiny kak ob'ekt izucheniya* [Wood as a chemical raw material: its history and modernity. I. Lignoharbohydrate complex of wood as an object of study]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 1, pp. 74–89. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-1-74-89
- [3] Lotova L.I. *Botanika: Morfologiya i anatomiya vysshih rasteniy* [Botany: Morphology and anatomy of higher plants]. Moscow: Lenand, 2018, 512 p.
- [4] Leont'ev L.L. *Drevesinovedenie i lesnoe tovarovedenie* [Wood science and forest commodity science]. St. Petersburg: Lan', 2017, 416 p.
- [5] Ugolev B.N. *Drevesinovedenie i lesnoe tovarovedenie* [Wood science and forest products]. Moscow: MSFU, 2007, 351 p.
- [6] *Atlas drevesiny i volokon dlya bumagi* [Atlas of wood and paper fibers]. Ed. E.S. Chavchavadze. Moscow: Klyuch, 1992, 336 p.
- [7] *Zhizn' rasteniy. V VI tomah. Tom IV. Mhi, plauny, hvoshchi, paprotniki, golosemnyye rasteniya* [Plant life. In VI volumes. Volume IV Mosses, crowns, horsetails, ferns, gymnosperms]. Ed. A.A. Fyoderov. Moscow: Education, 1978, 447 p.
- [8] Kononov G.N. *Dendrohimiya. Himiya, nanohimiya i biogehimiya komponentov kletok, tkaney i organov drevesnykh rasteniy* [Dendrochemistry. Chemistry, nanochemistry and biogeochemistry of components of cells, tissues and organs of woody plants. In two volumes. Volume I]. Moscow: MSFU, 2015, 480 p.
- [9] *Himiya drevesiny* [Chemistry of wood] Ed. M.A. Ivanov. Moscow: Forest industry, 1982, 400 p.
- [10] Beynart I.I., Vedernikov N.A. *Kletochnaya stenka drevesiny i eyo izmeneniya pri himicheskoy vozdeystvii* [The cell wall of wood and its changes during chemical exposure]. Riga: Knowledge, 1972, 510 p.
- [11] Bobrov A.I., Mutovina M.G., Bondareva T.A., Malysheva V.K. *Proizvodstvo voloknistykh polufabrikatov iz listvennoy drevesiny* [Production of fibrous semi-finished products from hardwood]. Moscow: Forest industry, 1984, 248 p.
- [12] Flyate D.M. *Svoystva bumagi* [Paper properties]. St. Petersburg: Lan', 2012, 384 p.
- [13] Bronzov O.V., Utkin G.K., Kislicyn A.N., Morozova O.V., Vasilevskaya S.I. *Drevesnyy ugol'. Poluchenie, osnovnyye svoystva, oblasti primeneniya drevesnogo uglya* [Charcoal. Obtaining, basic properties, areas of application of charcoal]. Moscow: Forest industry, 1979, 137 p.
- [14] Yur'ev Yu.L. *Drevesnyy ugol'. Spravochnik* [Charcoal. Directory]. Yekaterinburg: Sokrat, 2007, 184 p.
- [15] Vyrodov V.A., Kislicyn A.N., Gluhareva M.I. *Tekhnologiya lesokhimicheskikh proizvodstv* [Technology of forest chemical production]. Moscow: Forest industry, 1987, 352 p.

- [16] Bazhenov V.A. *Pronicaemost' drevesiny zhidkostyami i ee prakticheskoe znachenie* [The permeability of wood to liquids and its practical significance]. Moscow: Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR, 1952, 93 p.
- [17] Nepenin N.N., Nepenin Yu.N. *Tekhnologiya tsellyulozy* [Cellulose technology]. Ochistka, sushka i otbelka tsellyulozy. Prochie sposoby polucheniya tsellyulozy [Cleaning, drying and bleaching of cellulose. Other methods for producing cellulose]. In 3 vol. Vol 3. Moscow: Ekologiya [Ecology], 1994, 592 p.
- [18] Aksenov P.A. *Metabolicheskaya aktivnost' i gistometricheskie kharakteristiki strukturnykh elementov drevesiny* [Metabolic activity and histometric characteristics of structural elements of wood]. Lesnoy kompleks v tsifrovoy ekonomike. Tezisy dokladov mezhdunarodnogo simpoziuma [Forestry complex in digital economy. Abstracts of the international symposium], MF MSTU named after N.E. Bauman, December 2–5, 2019, pp. 60–61.
- [19] Manukovskiy A.Yu., Kurdyukov R.P., Nasonova Yu.Yu. *Protsessy Vodopoglashcheniya Drevesiny* [Processes of Water Absorption of Wood]. Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika [Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice], 2014, v. 2, no. 2–3 (7–3), pp. 98–102.
- [20] Grib V.M. *Osobennosti stroeniya kornevykh sistem sosny obyknovnoy i ikh vliyanie na kachestvo lesovosstanovleniya* [Features of the structure of the root systems of Scots pine and their impact on the quality of reforestation]. Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal), 2015, no. 2 (344), pp. 37–49.
- [21] Snegireva S.N., Plyukhina N.A., Elfimov I.S. *Vliyanie usloviy proizrastaniya na mikrostrukturu drevesiny kol'tsesosudistykh porod* [The influence of growing conditions on the microstructure of wood of ring-vascular species]. Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika [Actual directions of scientific research in the XXI century: theory and practice], 2017, t. 5, no. 1 (27), pp. 108–112.

Authors' information

Kononov Georgiy Nikolaevich — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), Corresponding Member of the Russian Academy of Natural Sciences, the Scientific Secretary of section «Chemistry and engineering chemistry of wood» RHO of D. I. Mendeleev, kononov@mgul.ac.ru

Zaytsev Vladislav Dmitrievich — Graduate student of BMSTU (Mytishchi branch), kelertak@bk.ru

Received 31.08.2020.

Accepted for publication 30.09.2020.

К ВОПРОСУ ВЫБОРА ХАРВЕСТЕРНОЙ ГОЛОВКИ ДЛЯ ЛЕСОВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ РОССИИ

С.П. Карпачев, М.А. Быковский, А.В. Лаптев

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

karpachevs@mail.ru

Изложены теоретические и экспериментальные исследования по обоснованию выбора харвестерной головки. Разработана математическая модель работы харвестера на основе учета природных и производственно-технологических факторов. Полученные в результате экспериментов результаты позволили обосновать размеры харвестерной головки для лесов Центрального федерального округа, в частности, максимальную ширину раскрытия захватных рычагов харвестерной головки. При выборе размеров харвестерной головки даны рекомендации исходить из того, что некоторая часть крупномерных деревьев остается на лесосеке. Валку таких деревьев можно проводить бензопилами. Для лесов Центрального федерального округа рекомендуется харвестерная головка с максимальной шириной раскрытия захватных рычагов 750 мм. В этом случае заготовленное количества деревьев без учета тонкомера составит 99,8 % от общего количества деревьев на лесосеке, а объем заготовленной древесины — 98,6 %.

Ключевые слова: харвестерная головка, математическая модель, имитационное моделирование

Ссылка для цитирования: Карпачев С.П., Быковский М.А., Лаптев А.В. К вопросу выбора харвестерной головки для лесов Центральной России // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 6. С. 113–118. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-6-113-118

Харвестер относится к многооперационным машинам, которая выполняет несколько технологических операций: валку деревьев, очистку деревьев от сучьев, раскряжевку на сортименты, их учет. Все эти операции выполняются с использованием харвестерной головки.

При выборе харвестерной головки, одним из главных критериев является достижение максимальной производительности харвестера.

Анализ рабочего цикла харвестерной головки позволил выделить две группы факторов, влияющие на производительность харвестера:

1) природные, определяемые эксплуатационными показателями древостоя в целом и отдельных деревьев;

2) производственно-технологические, определяемые циклами времени обработки одного дерева харвестерной головкой.

Следует отметить, что число спиленных деревьев на одной рабочей стоянке харвестера не обязательно совпадает с общим числом деревьев, расположенных в зоне действия его технологического оборудования. Это относится не только к выборочным рубкам, когда, согласно технологии, предполагается изъятие только части деревьев, но и к сплошным рубкам. Во-первых, будут оставлены тонкомерные деревья, в том числе в качестве подростка, во-вторых — крупномерные деревья, которые нельзя спилить и обработать харвестерной головкой из-за того, что диаметр дерева в месте спиливания превышает максимальную ширину раскрытия ее захватных рычагов.

Отсюда возникает проблема выбора харвестерной головки: какой должен быть максималь-

ный размер харвестерной головки, чтобы число и объем оставленной на лесосеке крупномерной древесины не превышал заданный?

Цель работы

Цель работы — выбор харвестерной головки по критерию достижения максимальной производительности харвестера на основе учета природных и производственно-технологических факторов.

Объекты и методика исследований

Исследования проводились методами имитационного моделирования на математических моделях [1–8].

В работе технологический процесс функционирования харвестера с харвестерной головкой определялся для лесов Центрального Федерального округа (ЦФО) с учетом следующих факторов [9, 10]:

природных

– запаса леса на 1 га,

– диаметра ствола дерева в месте спиливания;

– высоты дерева и объем хлыста;

производственно-технологических

– циклов времени обработки одного дерева;

– максимального размера харвестерной головки, который определяет максимальный диаметр заготавливаемого дерева (максимальный диаметр обрабатываемого харвестерной головкой дерева).

В качестве основных выходных величин приняты следующие:

1) количественные показатели, шт./ч:

– общее число деревьев до рубки на участке лесосеки, обработанном харвестером;

- число деревьев, заготовленных харвестером;
- оставленные на участке лесосеки деревья;
- 2) объемные показатели, м³/ч:
 - общий объем древесины на участке лесосеки, обработанном харвестером;
 - заготовленный харвестером объем древесины;
 - оставленный на участке лесосеке объем древесины.

Эти величины позволяют оценить эффективность работы харвестера с исследуемой харвестерной головкой [11].

Средние значения таксационных показателей лесов по ЦФО:

- Объем хлыста, м³ 0,41;
- Диаметр ствола на высоте 1,3 м 23,4;
- Высота дерева, м 20,2;
- Запас леса на 1 га, м³ 192;
- Число деревьев на 1 га, шт. 468.

При моделировании древостоев учитывались не только средние таксационные показатели лесов по ЦФО, но и распределение числа и объема деревьев по диаметрам стволов на высоте 1,3 м и диаметрам стволов в месте спиливания [12–24].

Диаметр ствола дерева в месте спиливания определялся как случайное непрерывное число. Для получения диаметра ствола использовался метод преобразования равномерного распределения в заданное.

В моделях при генерации диаметров стволов использовалось *beta*-распределение с диапазоном варьирования диаметров, которые были установлены экспериментально (рис. 1).

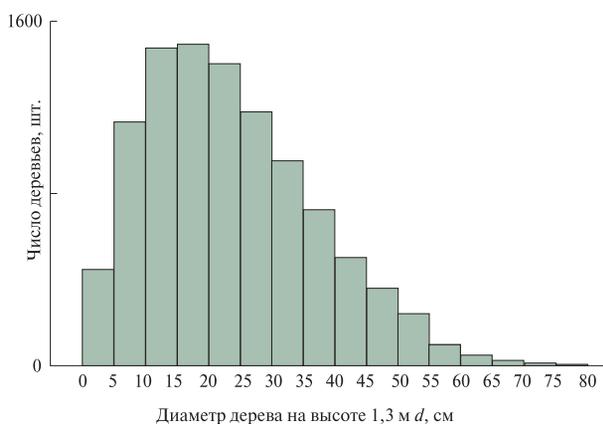


Рис. 1. Гистограмма генерации деревьев по диаметрам стволов на высоте 1,3 м, распределенных по *beta*-распределению для лесов Центрального Федерального округа (средний диаметр 23,482 см)

Fig. 1. Histogram of tree generation by diameter at a height of 1,3 m, distributed by *beta*-distribution for forest plantations of the Central Federal District (average diameter 23,482 cm)

Производительность харвестера за 1 ч в модели определялась как объем всех спиленных, раскряжеванных на сортименты и уложенных в пачки сортиментов:

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{n_{x,r}} T_{ij} = 3600 \Rightarrow P_{\text{час}} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{n_{x,r}} \sum_{k=1}^{n_c} V_{cijk}, \quad (1)$$

где T_{ij} — время i -го цикла обработки дерева на j -й стоянке, с;

V_{cijk} — объем k -го сортимента во время i -го цикла обработки дерева на j -й стоянке, м³;

N — число стоянок;

$n_{x,r}$ — число деревьев на j -й стоянке, которые могут быть обработаны харвестерной головкой;

n_c — число сортиментов на j -й стоянке при обработке i -го дерева;

$P_{\text{час}}$ — часовая производительность харвестера, м³/ч.

Время валки и раскряжевки каждого дерева соответствует времени цикла работы харвестера и является случайной величиной. Распределение времени цикла работы принято по экспоненциальному закону.

Время цикла рассчитывается по формуле

$$T_{\text{ц}} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 \quad (2)$$

где t_1, t_2, t_3, t_4, t_5 — соответственно циклы времени на доставку харвестерной головки к дереву, зажим рычагов, валку дерева (включает в себя спиливание, сталкивание и перемещение дерева к месту обработки), обрезку сучьев и на раскряжевку.

Время переезда от одной рабочей стоянки к другой не учитывалось.

Проведено исследование влияния на выходные показатели работы харвестера максимального размера харвестерной головки, который определяет максимальный диаметр обрабатываемого дерева.

Всего было запланировано пять серий опытов, в каждой серии поставлено также по пять опытов с варьированием выделенных факторов на пяти уровнях. Продолжительность моделирования в каждом опыте — 10 000 ч или 36 000 000 с.

Результаты и обсуждение

Анализ эффективности работы харвестера проводился по изменениям объемов и количества деревьев для разного максимального размера харвестерной головки. В частности, по изменению объемов всей древесины на участке лесосеке, пройденной харвестером за 1 ч, по объему заготовленной древесины за 1 ч и по объему оставленной крупномерной древесины за 1 ч (рис. 2). Соответствующие изменения количества деревьев представлены на рис. 3. Зависимости объема и числа заготовленных деревьев от максимального размера харвестерной головки, выраженные в процентах, приведены на рис. 4.

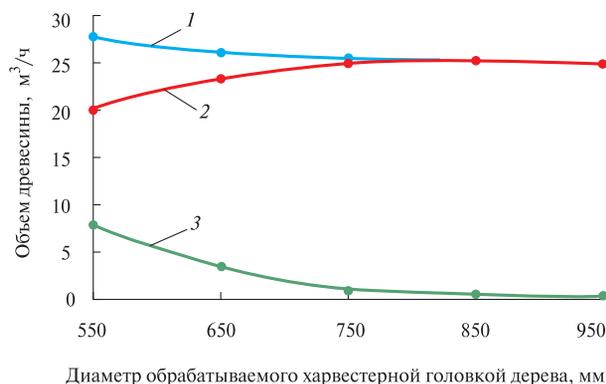


Рис. 2. Зависимость объема древесины от максимального размера харвестерной головки (максимального диаметра обрабатываемого дерева): 1 — объем всей древесины, м³/ч; 2 — объем заготовленной харвестером древесины, м³/ч; 3 — объем оставленной крупномерной древесины, м³/ч

Fig. 2. The dependence of the volume of wood of the maximum head size (maximum diameter of tree): 1 — the total volume of timber, m³/h; 2 — the volume harvested by the harvester of the timber, m³/h; 3 — large amount of abandoned wood, m³/h

Из рис. 2 видно, что объем переработанной древесины с увеличением максимального размера харвестерной головки увеличивается, а объем оставленных на лесосеке деревьев уменьшается. Так, например, при максимальном размере харвестерной головки 550 мм объем заготовленной древесины составляет 19,762 м³/ч, объем оставленной — 7,603 м³/ч. При максимальном размере харвестерной головки 950 мм соответствующие объемы будут составлять 25,428 и менее 0,001 м³/ч.

Интересно отметить характер зависимости общего объема деревьев, которые произрастают на участке лесосеки: общий объем древесины снижается. Так, например, при максимальном размере харвестерной головки 550 мм объем всей древесины на лесосеке, которую за 1 ч обрабатывает харвестер, составляет 27,365 м³/ч. При максимальном размере харвестерной головки 950 мм общий объем древесины уменьшился до 25,428 м³/ч, поскольку с увеличением максимального размера харвестерной головки харвестер заготавливает больше крупномерных деревьев с единицы площади лесосеки и поэтому осваиваемая харвестером за 1 ч площадь лесосеки с увеличением максимального размера харвестерной головки уменьшается и, соответственно, на меньшей площади будет находиться меньше деревьев.

График зависимости числа деревьев от максимального размера харвестерной головки (см. рис. 3) повторяет основные тенденции графика зависимости объема древесины от максимального диаметра обрабатываемого дерева (см. рис. 2).

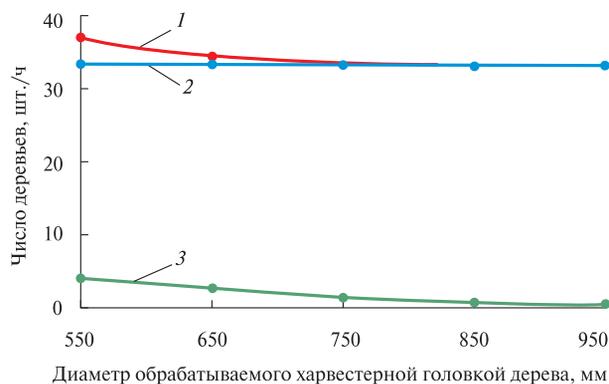


Рис. 3. Зависимость числа деревьев от максимального размера харвестерной головки (максимального диаметра обрабатываемого дерева): 1 — общее число деревьев, шт./ч; 2 — число заготовленных деревьев, шт./ч; 3 — число оставленных крупномерных деревьев, шт./ч

Fig. 3. The dependence of the number of trees of the maximum size of the head (maximum diameter of tree): 1 — the total number of trees, pieces/h; 2 — number of harvested trees, pieces/h; 3 — the number of retained large trees, pieces/h

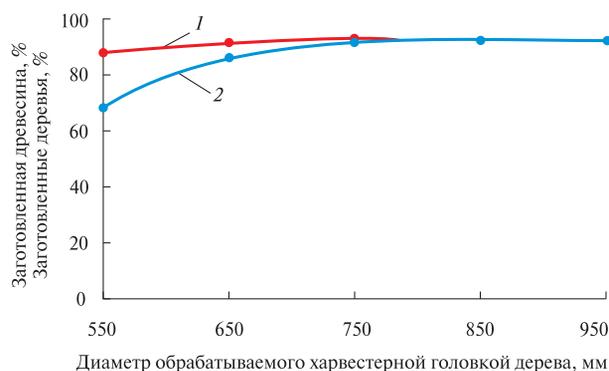


Рис. 4. Зависимость объема и числа заготовленных деревьев от максимального размера харвестерной головки (максимального диаметра обрабатываемого дерева): 1 — заготовленное число деревьев без учета тонкомера, %; 2 — заготовленный объем древесины без учета тонкомера, %

Fig. 4. Dependence of the volume and number of harvested trees on the maximum size of the harvester head (maximum diameter of the processed tree): 1 — the harvested number of trees without a thin gauge, %; 2 — the harvested volume of wood without a thin gauge, %

Теми же причинами объясняется уменьшение числа всех деревьев на лесосеке с увеличением максимального размера харвестерной головки.

Отметим, что число заготовленных деревьев мало изменяется с увеличением максимального размера харвестерной головки и остается равным 35 шт./ч, поскольку время на заготовку крупных и средних деревьев остается примерно одинаковым. Увеличение времени на выпиливание дополнительных сортиментов из крупных деревьев в среднем незначительно, что следует из загрузки харвестера на этих операциях.

Также примечательно, что число оставляемых на лесосеке деревьев уменьшается. Так, например, при максимальном размере харвестерной головки 550 мм число оставляемых деревьев составляет около 2,377 шт./ч, а при диаметре 950 мм — менее 0,001 шт./ч, т. е. в последнем случае заготавливаются практически все деревья.

Анализ зависимостей (см. рис. 2–4) позволяет понять увеличение объема и количества деревьев с увеличением максимального размера харвестерной головки. Эти данные высчитывались без учета тонкомерной древесины, которая не заготавливается. Так, например, при максимальном размере харвестерной головки 550 мм объем заготовленной древесины относительно всей древесины на лесосеке равен 72,216 %. При максимальном размере харвестерной головки 950 мм — 100 %. Если анализировать число деревьев, то увеличение составляет от 93,656 % до 100 %, т. е. в последнем случае заготавливается вся крупномерная древесина.

Выводы

Полученные в ходе экспериментов данные позволяют обосновать размеры харвестерной головки для ЦФО, в частности, максимальный размер харвестерной головки.

При выборе размеров харвестерной головки следует понимать, что она рассчитана на заготовку всех деревьев и может оказаться неприемлемой по размерам и массе, что повлияет на величину вылета стрелы манипулятора (она уменьшится) [9], а это в свою очередь приведет к уменьшению зоны обработки с одной рабочей стоянки и снижению производительности вследствие увеличения количества переездов харвестера от одной рабочей стоянки к другой. При выборе харвестерной головки следует исходить из того, что некоторая часть крупномерных деревьев может быть оставлена на лесосеке. Тем более что крупномерные деревья, согласно современным международным требованиям по устойчивому лесопользованию, должны оставаться на лесосеке в качестве семенных деревьев или для сохранения биологического разнообразия (до 20 шт./га). При необходимости, заготовка крупномерных деревьев может производиться бензопилами после разработки лесосеки [25].

Если исходить из числа и объема заготовленных деревьев, то максимальный размер харвестерной головки для лесов ЦФО можно рекомендовать равным 750 мм. Тогда объем заготовленного количества деревьев без учета тонкомера составит 99,8 %. Что касается объема заготавливаемой древесины, то он также при этом достаточно высокий и составляет 98,6 %.

Работа выполнена в МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал) при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках соглашения №075-11-2019-030 от 22 ноября 2019 г.

Список литературы

- [1] Spinelli R., Hartsough B. A survey of Italian chipping operations // *Biomass and Bioenergy*, 2001, v. 21(6), pp. 433–444.
- [2] Magagnotti N., Spinelli R. Good practice guidelines for biomass production studies; WG2 Operations research and measurement methodologies. Sesto Fiorentino, Italy: COST Action FP-0902 and CNR Ivalsa, 2012, 52 p.
- [3] Eliasson L., von Hofsten H., Johannesson T., Spinelli R., Thierfelder T. Effects of sieve size on chipper productivity, fuel consumption and chip size distribution for open drum chippers // *Croatian J. of Forest Engineering*, 2015, v. 36(1), pp. 11–17.
- [4] Spinelli R., Nati C., Magagnotti N. Recovering logging residue: experiences from the Italian Eastern Alps // *Croatian J. of Forest Engineering*, 2007, v. 28(1), pp. 1–9.
- [5] Mihelic M., Spinelli R., Poje A. Production of Wood Chips from Logging Residue under Space-Constrained Conditions // *Croatian J. of Forest Engineering*, 2018, v. 39(2), pp. 223–232.
- [6] Gerasimov Y., Karjalainen T. Energy wood resources in Northwest Russia // *Biomass and Bioenergy*, 2011, no. 35, pp. 1655–1662.
- [7] Karpachev S.P., Zaprudnov V.I., Bykovskiy M.A., Karpacheva I.P. Simulation Studies on Line Intersect Sampling of Residues Left After Cut-to-Length Logging // *Croatian J. of Forest Engineering*, 2020, v. 41 (1), pp. 95–107. DOI: <https://doi.org/10.5552/crojfe.2020.531>
- [8] Esteban B., Baquero G., Puig R., Riba J.R., Rius A. Is it environmentally advantageous to use vegetable oil directly as biofuel instead of converting it to biodiesel? // *Biomass Bioenergy*, 2011, no. 35, pp. 1317–1328. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.12.025> (дата обращения 01.02.2020).
- [9] Салминен Э.О., Гуров С.В., Большаков Б.М. Размещение волоков на заболоченных участках // *Лесная промышленность*, 1988, № 3. С. 32–33.
- [10] Барановский В.А., Некрасов Р.М. Системы машин для лесозаготовок. М.: Лесная пром-ть, 1977. 248 с.
- [11] Виногооров Г.К. Лесосечные работы. М.: Лесная пром-сть, 1981. 272 с.
- [12] Рыжков А.Е., Проказин Н.Е. Система добровольной лесной сертификации PEFC-FCR, оценка лесопользования, лесопользования и цепочки поставок лесопроизводства на соответствие международным требованиям. М.: PEFC-FCR, 1916. 254 с.
- [13] Шелгунов Ю.В. Машины и оборудование лесозаготовок, лесосплава и лесного хозяйства. М.: Лесная пром-сть, 1982. 520 с.
- [14] Ширнин Ю.А. Технология и оборудование лесопромышленных производств. Ч. 1. Лесосечные работы. М.: МГУЛ, 2004. 445 с.
- [15] Григорьев И.В., Жукова А.И. Координатно-объемная методика трассирования при освоении лесосек трелевкой // *ИВУЗ Лесной журнал*, 2004. № 4. С. 40–44.
- [16] Сюнев В.С. Сравнение технологий лесосечных работ в лесозаготовительных компаниях Республики Карелия. Йоенсуу: НИИ леса Финляндии METLA, 2008. 126 с.
- [17] Герц Э.Ф. Оценка технологии лесопользования на лесосечных работах. Екатеринбург: УГЛТУ, 2003. 120 с.

- [18] Григорьев И.В., Жукова А.И., Григорьева О.И., Иванов А.В. Средащадящие технологии разработки лесосек в условиях северо-западного региона Российской Федерации. СПб.: СПбГЛТА, 2008. 174 с.
- [19] Макаренко А.В., Быковский М.А., Лаптев А.В. Эффективность выполнения технологических операций при проведении выборочных рубок леса // Актуальные проблемы развития лесного комплекса. Материалы 13-й Междунар. науч.-техн. конф., 01–02 декабря 2015 г. Вологодский государственный университет. Вологда: ВГУ, 2016. С. 32–37.
- [20] Макаренко А.В. Оптимизация размещения сети трелевочных волоков на лесосеке // Лесозаготовительное производство: проблемы и решения. Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 26–28 апреля 2017 г. Минск: БГТУ, 2017. С. 233–237.
- [21] Григорьев И.В. Снижение отрицательного воздействия на почву колесных тракторов обоснованием режимов их движения и технологического оборудования. СПб.: СПбГЛТА, 2006. 236 с.
- [22] Пискунов М.А. Распределение проходов форвардера и построение оптимальных схем расположения трелевочных волоков на лесосеке // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер. Лес. Экология. Природопользование, 2017. № 2 (34). С. 37–48.
- [23] Кузнецов В.И. Представляем фирму «Лестехком» – новое качество лесозаготовительной техники // Лесная промышленность, 2006. № 1. С. 12–14.
- [24] Галактионов О.Н. Технологический процесс лесозаготовок и ресурсы лесосечных отходов. Петрозаводск: ПетрГУ, 2007. 95 с.
- [25] Дербин В.М., Дербин М.В. Технология работы харвестера при выборочных рубках // Лесотехнический журнал, 2016. № 2. С. 69–75. DOI: 10.12737/19956

Сведения об авторах

Карпачев Сергей Петрович — д-р техн. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), karpachevs@mail.ru

Быковский Максим Анатольевич — канд. техн. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), bykovskiy@mgul.ac.ru

Лаптев Александр Валентинович — ст. преподаватель МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), laptev@mgul.ac.ru

Поступила в редакцию 31.08.2020.

Принята к публикации 10.10.2020.

CHOOSING HARVESTER HEAD FOR FORESTS OF CENTRAL RUSSIA

S.P. Karpachev, M.A. Bykovskiy, A.V. Laptev

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

karpachevs@mail.ru

Theoretical and experimental studies to substantiate the choice of a harvester head are presented. A mathematical model of the harvester's work has been developed based on natural and production-technological factors. The results obtained make it possible to justify the dimensions of the harvester head for the Central Federal District, in particular, the maximum width of the opening of the gripping levers harvester head. When choosing the size of the harvester head, it is recommended to proceed from the fact that some of the large trees can be left in the cutting area. Felling of such trees can be done with chainsaws. If we proceed from the number and volume of harvested trees, then the width of the opening of the gripping levers harvester head for the Central Federal District can be recommended equal to 750 mm. In this case, the percentage of the harvested number of trees without taking into account the small size will be 99,8%. As for the volume of harvested wood, it is also quite high and amounts to 98,6%.

Keywords: harvester head, mathematical model, simulation

Suggested citation: Karpachev S.P., Bykovskiy M.A., Laptev A.V. *K voprosu vybora kharvesternoy golovki dlya lesov Tsentral'noy Rossii* [Choosing harvester head for forests of Central Russia]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 6, pp. 113–118. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-6-113-118

References

- [1] Spinelli R., Hartsough B. A survey of Italian chipping operations. *Biomass and Bioenergy*, 2001, v. 21(6), pp. 433–444.
- [2] Magagnotti N., Spinelli R. Good practice guidelines for biomass production studies; WG2 Operations research and measurement methodologies. Sesto Fiorentino, Italy: COST Action FP-0902 and CNR Ivalsa, 2012, 52 p.
- [3] Eliasson L., von Hofsten H., Johannesson T., Spinelli R., Thierfelder T. Effects of sieve size on chipper productivity, fuel consumption and chip size distribution for open drum chippers. *Croatian J. of Forest Engineering*, 2015, v. 36(1), pp. 11–17.
- [4] Spinelli R., Nati C., Magagnotti N. Recovering logging residue: experiences from the Italian Eastern Alps. *Croatian J. of Forest Engineering*, 2007, v. 28(1), pp. 1–9.
- [5] Mihelic M., Spinelli R., Poje A. Production of Wood Chips from Logging Residue under Space-Constrained Conditions. *Croatian J. of Forest Engineering*, 2018, v. 39(2), pp. 223–232.
- [6] Gerasimov Y., Karjalainen T. Energy wood resources in Northwest Russia. *Biomass and Bioenergy*, 2011, no. 35, pp. 1655–1662.

- [7] Karpachev S.P., Zaprudnov V.I., Bykovskiy M.A., Karpacheva I.P. Simulation Studies on Line Intersect Sampling of Residues Left After Cut-to-Length Logging. *Croatian J. of Forest Engineering*, 2020, v. 41 (1), pp. 95–107. DOI: <https://doi.org/10.5552/crojfe.2020.531>
- [8] Esteban B., Baquero G., Puig R., Riba J.R., Rius A. Is it environmentally advantageous to use vegetable oil directly as biofuel instead of converting it to biodiesel?. *Biomass Bioenergy*, 2011, no. 35, pp. 1317–1328. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.12.025> (дата обращения 01.02.2020).
- [9] Salminen E.O., Gurov S.V., Bol'shakov B.M. *Razmeshchenie volokov na zabolochennykh uchastkakh* [Placement of portages on wetlands]. *Lesnaya promyshlennost'* [Forestry], 1988, no. 3, pp. 32–33.
- [10] Baranovskiy V.A., Nekrasov R.M. *Sistemy mashin dlya lesozagotovok* [Systems of machines for logging]. Moscow: Lesnaya prom-t' [Forest industry], 1977, 248 p.
- [11] Vinogorov G.K. *Lesosechnye raboty* [Logging work]. Moscow: Lesnaya prom-t' [Forest industry], 1981, 272 p.
- [12] Ryzhkov A.E., Prokazin N.E. *Sistema dobrovol'noy lesnoy sertifikatsii PEFC-FCR, otsenka lesoupravleniya, lesopol'zovaniya i tepochki postavok lesoproductsii na sootvetstvie mezhdunarodnym trebovaniyam* [PEFC-FCR voluntary forest certification system/assessment of forest management, forest use and supply chain of forest products for compliance with international requirements]. Moscow: PEFC-FCR, 1916, 254p.
- [13] Shelgunov Yu.V. *Mashiny i oborudovanie lesozagotovok, lesosplava i lesnogokhozyaystva* [Machines and equipment of logging, timber rafting and forestry]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Timber industry], 1982, 520 p.
- [14] Shirin Yu.A. *Tekhnologiya i oborudovanie lesopromyshlennykh proizvodstv. Ch. 1. Lesosechnye raboty* [Technology and equipment of forest industry. Part 1. Logging work]. Moscow: MGUL, 2004, 445 p.
- [15] Grigor'ev I.V., Zhukova A.I. *Koordinatno-ob'emnaya metodika trassirovaniya pri osvoenii lesosek trelevkoy* [Coordinate volumetric tracing technique in the development of skidding sites]. *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2004, no. 4, pp. 40–44.
- [16] Syuney V.S. *Sravnienie tekhnologiy lesosechnykh rabot v lesozagotovitel'nykh kompaniyakh Respubliki Kareliya* [Comparison of logging technologies in logging companies of the Republic of Karelia]. Joensuu: Finnish Forest Research Institute METLA, 2008, 126 p.
- [17] Gerts E.F. *Otsenka tekhnologii lesopol'zovaniya na lesosechnykh rabotakh* [Evaluation of forest technology in logging work]. Ekaterinburg: USFU, 2003, 120 p.
- [18] Grigor'ev I.V., Zhukova A.I., Grigor'eva O.I., Ivanov A.V. *Sredoshchadyashchie tekhnologii razrabotki lesosek v usloviyakh severo-zapadnogo regiona Rossiyskoy Federatsii* [Mediating technologies for the development of cutting areas in the northwestern region of the Russian Federation]. St. Petersburg: SPbGLTA, 2008, 174 p.
- [19] Makarenko A.V., Bykovskiy M.A., Laptev A.V. *Effektivnost' vypolneniya tekhnologicheskikh operatsiy pri provedenii vyborochnykh rubok lesa* [The efficiency of technological operations during selective logging] Aktual'nye problem razvitiya lesnogo kompleksa. Materialy 13-y Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, 01–02 dekabrya 2015 g. Vologodskiy gosudarstvennyy universitet [Actual problems of the development of the forest complex. Materials of the 13th International Scientific and Technical Conference, December 01–02, 2015 Vologda State University]. Vologda: VSU, 2016, pp. 32–37.
- [20] Makarenko A.V. *Optimizatsiya razmeshcheniya seti trelevochnykh volokov na lesoseke* [Optimizing the placement of a network of skidding trails in the cutting area. Logging production: problems and solutions]. *Lesozagotovitel'noe proizvodstvo: problemy i resheniya*. Materialy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, Minsk, BGUTU, 26–28 aprelya 2017g. [Materials of the international scientific and technical conference, Minsk, BSTU, April 26–28, 2017]. Minsk: BSTU, 2017, pp. 233–237.
- [21] Grigor'ev I.V. *Snizhenie otritsatel'nogo vozdeystviya na pochvu kolesnykh traktorov obosnovaniem rezhimov ikh dvizheniya i tekhnologicheskogo oborudovaniya* [Reducing the negative impact on the soil of wheeled tractors by justifying the modes of their movement and technological equipment]. St. Petersburg: SPbGLTA, 2006, 236 p.
- [22] Piskunov M.A. *Raspredelenie prokhodov forvardera i postroenie optimal'nykh skhem raspolozheniya trelevochnykh volokov na lesoseke* [Distribution of forwarder passes and the construction of optimal layouts of skidding tracks in the cutting area]. *Vestnik Volga State University of Technology. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie* [Forest. Ecology. Nature use], 2017, no. 2 (34), pp. 37–48.
- [23] Kuznetsov V.I. *Predstavlyaem firmu «Lestekkom» — novoe kachestvo lesozagotovitel'noy tekhniki* [We represent Lestekkom, a new quality of logging equipment] *Lesnaya promyshlennost'* [Forest Industry], 2006, no. 1, pp. 12–14.
- [24] Galaktionov O.N. *Tekhnologicheskyy protsess lesozagotovok i resursy lesosechnykh otkhodov* [Technological process of logging and resources of logging waste]. Petrozavodsk: PetrSU, 2007, 95 p.
- [25] Derbin V.M., Derbin M.V. *Tekhnologiya raboty kharvestera pri vyborochnykh rubkakh* [The technology of the harvester's work in selective felling]. *Lesotekhnicheskyy zhurnal* [Forest Engineering Journal], 2016, no. 2, pp. 69–75. DOI: 10.12737/19956

Authors' information

Karpachev Sergey Petrovich — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), karpachevs@mail.ru

Bykovskiy Maksim Anatol'evich — Cand. Sci. (Tech.) Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), bykovskiy@mgul.ac.ru

Laptev Aleksandr Valentinovich — Senior Lecturer of the BMSTU (Mytishchi branch), laptev@mgul.ac.ru

Received 31.08.2020.

Accepted for publication 10.10.2020.