

ЛЕСНОЙ ВЕСТНИК / FORESTRY BULLETIN

Научно-информационный журнал

№ 5 ' 2022 Том 26

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, ректор ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова, Воронеж

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

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

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

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

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

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

Ковачев Атанас, д-р архитектуры, профессор, член-корр. Болгарской АН, профессор Международной Академии Архитектуры, Лесотехнический университет, Болгария, Варна

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

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

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

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

Котиев Георгий Олегович, д-р техн. наук, профессор, кафедра «Колесные машины» МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

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

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

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

Липаткин Владимир Александрович, канд. биол. наук, профессор, Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва
Лукина Наталья Васильевна, член-корреспондент РАН, профессор, директор ЦЭПЛ РАН, зам. Председателя Научного совета по лесу РАН, Москва

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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 29.08.2022.

Тираж 600 экз.

Заказ №

Объем 19,75 п. л.

Цена свободная

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

LESNOY VESTNIK / FORESTRY BULLETIN

Scientific Information Journal
No. 5 ' 2022 Vol. 26

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.), Ukhta State Technical University, Ukhta
Chubinskiy Anatoliy Nikolaevich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), Saint Petersburg State Forest Technical University, St. Petersburg
Chumachenko Sergey Ivanovich, Professor, Dr. Sci. (Biol.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
Deglise Xavier, Dr. Sci. (Agric.), Academician of the IAWS, Academician of the French Academy of Agriculture, Nancy, France
Drapalyuk Mikhail Valentinovich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), Rector of VSUFT, Voronezh
Evdokimov Yuriy Mikhaylovich, Professor, Ph. D. (Chemical); academician of the New York Academy of Sciences, corr. Academy of Natural Sciences, a member of the Central Board of Nanotechnology Society of Russia, Moscow
Zalesov Sergey Veniaminovich, Professor, Dr. Sci. (Agric.), USFEU, Ekaterinburg
Zaprudnov Vyacheslav Il'ich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
Ivankin Andrey Nikolaevich, Professor, Dr. Sci. (Chemical), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
Kiryukhin Dmitriy Pavlovich, Dr. Sci. (Chemical), IPCP RAS, Chernogolovka
Klassen Nikolay Vladimirovich, Ph. D. (Phys.-Math.), ISSP RAS, Chernogolovka
Kovachev Atanas, Corresponding Member of the Bulgarian Academy of Sciences, Dr. Sci., Professor, University of Forestry, Bulgaria, Sofia
Kokh Nil's Elers, Professor, the Dr. of agronomics in the field of forest policy, the President of IUFRO, the Center of forest and landscape planning of university Copenhagen, Denmark
Komarov Evgeniy Gennadievich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
Korol'kov Anatoliy Vladimirovich, Professor, Dr. Sci. (Phys.-Math.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
Kotiev George Olegovich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
Kozlov Aleksandr Il'ich, Ph. D. (Tech.), Scientific Secretary of the Board of «NPO IT», Korolev
Kozhukhov Nikolay Ivanovich, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Econ.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
Krott Maks, Professor of Forest 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
Makuev Valentin Anatol'evich, Dr. Sci. (Tech.), Associate Professor, BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
Malashin Alexey Anatolyevich, Professor, Dr. Sci. (Physics and Mathematics), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
Martynuk Aleksandr Aleksandrovich, Corresponding Member of the RAS, Dr. Sci. (Agric.), VNIILM, Moscow
Melekhov Vladimir Ivanovich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), Academician of the Russian Academy of Natural Sciences, NARFU, Arkhangelsk
Moiseyev Aleksandr Nikolaevich, Senior Researcher, European Forest Institute, Joensuu, Finland
Nakvasina Elena Nikolaevna, Professor, Dr. Sci. (Agric.), Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Higher School of Natural Sciences and Technology, Arkhangelsk
Niemz Peter, Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h.c., Prof. for Wood Physics, ETH Zurich (Swiss Federal Institute of Technology in Zurich; Eidgenossische Technische Hochschule Zurich)
Oblivin Aleksandr Nikolaevich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), Academician of the Russian Academy of Natural Sciences and MANVSH, Honored worker of science and equipment of the Russian Federation, BMSTU, Moscow
Pasztory, Zoltan, Dr., Ph.D., Director of Innovation Center, University of Sopron, Sopron, Hungary
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
Ryukunin Stanislav Nikolaevich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
Shchepashchenko Dmitry Gennadievich, Associate Professor, Dr. Sci. (Biol.), Senior Researcher, International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Austria
Shimkovich Dmitriy Grigor'evich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), 000 «Kudesnik», Moscow
Strekalov Aleksandr Fedorovich, Ph. D. (Tech.), JSC «Tactical Missiles Corporation», Korolev
Teodoronskiy Vladimir Sergeevich, Professor, Dr. Sci. (Agric.), academician of the Russian Academy of Natural Sciences, BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
Titov Anatoliy Matveevich, Ph. D. (Tech.), Deputy Chief of Department, Scientific Secretary of the Board of MCC TSNIMASH, 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 29.08.2022.
Circulation 600 copies
Order №
Volume 19,75 p. p.
Price free

СОДЕРЖАНИЕ

БИОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА

Пинаевская Е.А., Тарханов С.Н. Климатический отклик в камбиальном росте форм сосны (<i>Pinus sylvestris</i> L.) таежной зоны Европейского Севера России	5
Петрова Г.А., Калашникова Е.А., Мухаметшина А.Р. Анализ роста осины (<i>Populus tremula</i> L.), полученной методом <i>in vitro</i> в условиях Республики Татарстан	15
Лепеско В.В., Рыбашлыкова Л.П. Интродукция, особенности роста и развития зизифуса (<i>Ziziphus jujuba</i> Mill.) в условиях Астраханского Заволжья и Волго-Ахтубинской поймы	23
Епишков А.А., Румянцев Д.Е., Бойко Г.А. Дендрозкологическое исследование роста ели Шренка в Ботаническом саду МГУ имени М.В. Ломоносова по данным анализа годовичных колец	31
Липилин Д.А., Гура Д.А., Яроцкая Е.В., Науменко Н.О. Геоинформационный анализ изменения границ Ставропольского городского лесничества	40
Макаров В.П., Желибо Т.В., Малых О.Ф., Банщикова Е.А., Зима Ю.В. Изменения структуры и биоразнообразия лиственничных лесов в верхнем течении р. Хилок (бассейн оз. Байкал) под воздействием пожаров	54
Секерин И.М., Годовалов Г.А., Ерицов А.М., Залесов С.В. Специфика распространения и тушения торфяных пожаров в зимний период	64

ЛАНДШАФТНАЯ АРХИТЕКТУРА

Карташова Н.П., Кругляк В.В. Ландшафтная организация территорий объектов культурно-бытового назначения	71
--	----

ЛЕСОИНЖЕНЕРНОЕ ДЕЛО

Ширнин Ю.А., Ширнин А.Ю. Влияние пространственного размещения деревьев на плантациях на технологические параметры выборочных рубок	83
Мохирев А.П., Куницкая О.А., Калита Г.А., Вернер Н.Н., Швецова В.В. Оценка надежности лесозаготовительного харвестера	93

ДЕРЕВООБРАБОТКА И ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

Рыбин Б.М., Завражнова И.А., Рыбин Д.Б. К вопросу определения блеска непрозрачных защитно-декоративных покрытий на древесине и древесных материалах	102
Моисеев С.А., Деянов Д.И., Косарин А.А., Курышов Г.Н. Импульсная сушка заготовок из древесины красного и черного дерева в конвективных сушильных камерах	112
Иванкин А.Н., Зарубина А.Н., Вережкин А.Н., Бабурина М.И. Гидролиз компонентов растительной биомассы как универсальный механизм экобезопасности природных и синтетических материалов	120

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Полещук О.М. Анализ подходов к рейтинговым оценкам состояния видов растений в нечетких условиях их мониторинга	128
Тукмаков Д.А. Аналитическая модель одномерной нестационарной динамики одиночной частицы в акустическом и электрическом полях	135
Комаров Е.Г., Лозовецкий В.В., Лебедев В.В., Архипенко А.В. Сертификация программного и программно-аппаратного обеспечения транспортных информационных систем в соответствии с требованиями безопасности	145

CONTENTS

BIOLOGICAL AND TECHNOLOGICAL ASPECTS OF FORESTRY

Pinaevskaya E.A., Tarkhanov S.N. Pine (<i>Pinus sylvestris</i> L.) cambial growth in Taiga zone of Russian European North	5
Petrova G.A., Kalashnikova E.A., Mukhametshina A.R. Growth analysis of aspen (<i>Populus tremula</i> L.) produced by in vitro method in Republic of Tatarstan	15
Lepesko V.V., Rybashlykova L.P. Introduction, growth and development features of Jujube tree (<i>Ziziphus jujuba</i> Mill.) in Astrakhan Volga Region and Volga-Akhtuba floodplain	23
Epishkov A.A., Rumyantsev D.E., Boyko G.A. Dendroecological growth research for <i>Picea Schrenkiana</i> in Botanical garden of M.V. Lomonosov Moscow State University by tree-ring data analysis	31
Lipilin D.A., Gura D.A., Yarotskaya E.V., Naumenko N.O. Geoinformation analysis of changes in Stavropol urban forestry borders	40
Makarov V.P., Zhelibo T.V., Malykh O.F., Banshchikova, E.A. Zima Yu.V. Structure and biodiversity changes affected by fires in larch forests at Khilok river (lake basin. Baikal) upstream flow	54
Secerin I.M., Godovalov G.A., Eritsov A.M., Zalesov S.V. Specifics of peat fires spreading and extinguishing in winter	64

LANDSCAPE ARCHITECTURE

Kartashova N.P., Kruglyak V.V. Landscaping of cultural and public amenities objects	71
---	----

FOREST ENGINEERING

Shirnin Y.A., Shirnin A.Y. Influence of trees positional application on technological parameters of selective fellings	83
Mokhirev A.P., Kunitskaya O.A., Kalita G.A., Werner N.N., Shvetsova V.V. Logging harvester reliability assessment	93

WOODWORKING AND CHEMICAL WOOD PROCESSING

Rybin B.M., Zavrazhnova I.A., Rybin D.B. Determining gloss of opaque protective and decorative coatings on wood and wood-based materials	102
Moiseev S.A., Deyanov D.I., Kosarin A.A., Kuryshov G.N. Redwood and ebony blanks impulse convective drying	112
Ivankin A.N., Zarubina A.N., Verevkin A.N., Baburina M.I. Plant biomass components hydrolysis as universal mechanism for eco safety of natural and synthetic materials	120

MATH MODELING

Poleshchuk O.M. State of plant species rating assessments approaches in fuzzy conditions of their monitoring	128
Tukmakov D.A. Analytical model of one-dimensional nonstationary dynamics of single particle in acoustic and electric fields	135
Komarov E.G., Lozovetsky V.V., Lebedev V.V., Archipenko A.V. Certification and identification of possible threats to information security of software and firmware	145

КЛИМАТИЧЕСКИЙ ОТКЛИК В КАМБИАЛЬНОМ РОСТЕ ФОРМ СОСНЫ (*PINUS SYLVESTRIS* L.) ТАЕЖНОЙ ЗОНЫ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА РОССИИ

Е.А. Пинаевская✉, С.Н. Тарханов

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова УрО РАН, 163069, г. Архангельск, Набережная Северной Двины, д. 23

aviatorov8@mail.ru

Проведено исследование по выявлению климатического отклика в камбиальном росте у сосны разных форм в условиях избыточного увлажнения почв северной и средней тайги. Представлены результаты по росту деревьев сосны с разной формой апофиза семенной чешуи шишек различных мест произрастания (бассейны рек Северная Двина, Пинега, Вага и устьев рек Мезень и Вычегда). Установлены достоверные различия по росту между деревьями с «выпуклой» и «плоской» формой апофиза семенной чешуи шишек в бассейнах рек Северная Двина, Пинега и Вага, устье р. Вычегда. Значения радиального прироста у деревьев с «плоской» формой апофиза семенной чешуи шишек ниже, чем у деревьев с «выпуклой». Выявлено, что разные формы сосны имеют невысокие и близкие значения показателя «чувствительности» (19...27%), а изменчивость этого показателя в более северных ценопопуляциях характеризуется как средняя, а в других — среднеповышенная. По «индексу стресса» деревьям разных форм характерно устойчивое и менее устойчивое состояние к условиям избытка влаги. В ценопопуляции сосны в устье р. Мезень и бассейне р. Пинега установлены близкие средние значения по этому показателю. В бассейне р. Северная Двина у деревьев с «выпуклой» формой апофиза семенной чешуи шишек среднее значение «индекса стресса» ниже, чем у «плоской» формой апофиза. В бассейне р. Вага и устье р. Вычегда значения «индекса стресса» больше у деревьев с «выпуклой» формой апофиза, чем у деревьев с «плоской» формой. По радиальному приросту деревьев сосны разных форм и температуре воздуха в районах исследования установлены значимые корреляции. Полученные результаты могут быть использованы в решении природоохранных проблем, связанных с климатическими изменениями.

Ключевые слова: сосна (*Pinus sylvestris* L.), форма апофиза семенной чешуи шишек, камбиальный рост, таежная зона, температура воздуха

Ссылка для цитирования: Пинаевская Е.А., Тарханов С.Н. Климатический отклик в камбиальном росте форм сосны (*Pinus sylvestris* L.) таежной зоны Европейского Севера России // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 5. С. 5–14. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-5-5-14

В последние десятилетия глобальное потепление климата оказывает все большее влияние на природные экосистемы. Это может привести к их модификации на структурном и функциональном уровнях [1]. Для России отмечается тенденция повышения среднегодовой температуры воздуха: число дней с высокой температурой воздуха увеличивается, а с низкой — уменьшается [2]. Лесные экосистемы реагируют на изменения климатических параметров в большей или меньшей степени. В структуре древесины деревьев фиксируется климатическая реакция, которая зависит от локальных условий местопроизрастания и видовых особенностей [3–5]. В разных физико-географических районах изменения в росте деревьев в связи с потеплением климата специфично [6–9].

Для современных дендроклиматических исследований представляется важным изучение анатомических параметров древесных колец [10, 11]. В последние годы в этом направлении в таежных экосистемах проводятся исследования по

влиянию осадков и температур первой половины вегетационного сезона на радиальный прирост деревьев [4, 5]. В частности, проведен дендроклиматический анализ на Южном Урале [12]. Изучено влияние температур первой половины сезона на рост деревьев на верхней и северной границе леса. Исследования по влиянию осадков на радиальный прирост древесных видов проводились в наиболее засушливых регионах [13, 14]. В ряде работ по изучению роста древесных видов указана важность определения взаимодействия и влияния наследственных экологических факторов как одной из основополагающих проблем современной биологии [15, 16].

У сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) как основного лесообразующего хвойного вида выделены разные формы по признакам генеративных органов, в том числе по форме апофиза семенной чешуи шишек, этот признак является надежным морфологическим маркером [17–19]. Исследования многолетней динамики роста разных форм сосны интересны в точки зрения реакции деревьев климатические изменения. Были изучены



Рис. 1. Карта-схема пробных площадей
Fig. 1. Schematic map of sampling areas

адаптивные реакции разных форм сосны обыкновенной в условиях длительного избыточного увлажнения в устье р. Северная Двина [20, 21], а полученные результаты дополнили исследования в данном направлении.

Цель работы

Цель работы — выявление климатического отклика в камбиальном росте у сосны разных форм в условиях избыточного увлажнения почв северной и средней тайги.

Материалы и методы

Исследования проведены в северо- (устье р. Мезень, бассейны рек Северная Двина и Пинега) и среднетаежных (бассейн р. Вага и устье р. Вычегда) кустарничково-сфагновых сосняках (состав 10С, класс бонитета Va) на пробных площадях в Архангельской области, заложенных стандартными методами (рис. 1).

Выполнено геоботаническое и таксационное описание этих пробных площадей. Возраст деревьев на пробных площадях определен по кернам, отобраным с помощью приростного бурава Naglof у основания ствола. Средняя высота деревьев на пробных площадях составила 5,2...6,1 м, средний диаметр стволов на высоте 1,3 м — 9,0...14,3 см.

Были выделены деревья с элементарными вариациями по форме апофиза семенной чешуи шишек: с «выпуклой» и «плоской» формами апофиза (рис. 2) [22].

Для оценки климатического отклика в камбиальном росте у 32...60 деревьев каждой формы

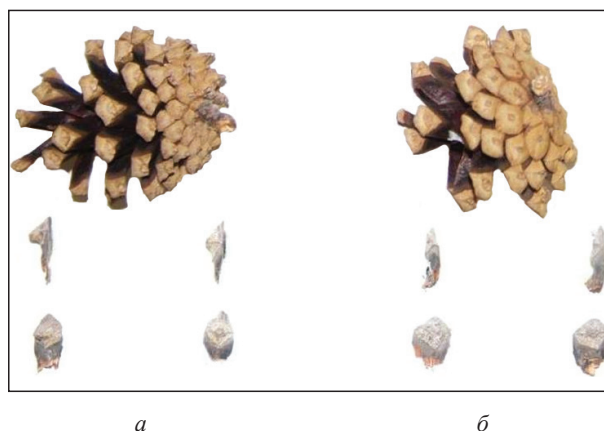


Рис. 2. «Выпуклая» (а) и «плоская» (б) формы апофиза семенной чешуи шишек

Fig. 2. «Convex» (a) and «flat» (б) apophysis of the cones seed scales

130–190-летнего возраста отобраны керны древесины на высоте ствола 1,3 м (годы отбора с 2014 по 2016). У разных форм сосны в лабораторных условиях проведены измерения радиального прироста, выполнены стандартизация измерений [23, 24] и дендрохронологический анализ [25–27]. Рассчитаны дендрохронологические показатели: степень надежности хронологий (оценка представительности рядов данных), индекс прироста (относительная величина, рассчитанная методом 5-летнего сглаживания средних значений), показатель «чувствительности» (относительная величина, рассчитанная через отношение разности соседних значений радиального прироста к среднему значению), «индекс стресса» (показатель устойчивости деревьев) [28–30]. Значения по температуре

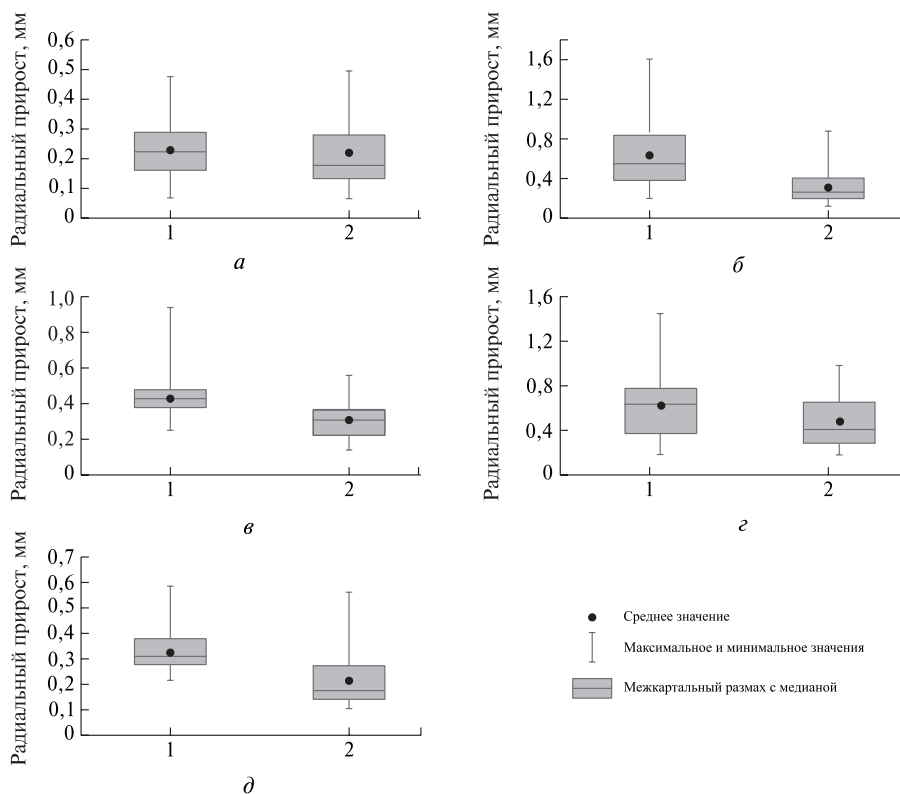


Рис. 3. Средние статистические показатели камбиального роста у форм сосны разных ценопопуляций: 1 — деревья с «выпуклой» формой апофиза семенной чешуи шишек; 2 — деревья с «плоской» формой апофиза; а — устье р. Мезень; б — бассейн р. Северная Двина; в — бассейн р. Пинега; г — бассейн р. Вага; д — устье р. Вычегда

Fig. 3. Average statistical indicators of cambial growth in pine of different populations: 1 — trees with a «convex» apophysis of the cones seed scales; 2 — trees with a «flat» form of the apophysis; а — the mouth of the Mezen River; б — the Northern Dvina River basin; в — the Pinega River basin; г — the Vaga River basin; д — the Vychegda River mouth

воздуха были взяты из архивов ближайших к пунктам исследования метеорологических станций (информация предоставлена сайтом «Расписание Погоды», gr5.ru). Для выявления климатического отклика в камбиальном росте у разных форм сосны применялся корреляционный анализ.

Результаты и обсуждение

Установлено, что в разных ценопопуляциях средние значения радиального прироста у деревьев с «выпуклой» и «плоской» формами апофиза отличаются (рис. 3). У деревьев с «плоской» формой апофиза семенной чешуи шишек значения ниже, чем у деревьев с «выпуклой». Достоверность различий установлена между деревьями в бассейнах рек Северная Двина и Пинега, в устье р. Вычегда ($t = 5,10 \dots 6,41$; $t_{0,001} = 3,39 \dots 3,42$) и бассейне р. Вага ($t = 3,03$; $t_{0,01} = 2,62$).

Возрастная изменчивость камбиального роста у выделенных форм разных ценопопуляций представлена на графиках (рис. 4). Установлено, что диаметр ствола (без коры) у сосны с «плоской» формой апофиза ниже, чем у сосны с «выпуклой» формой апофиза семенной чешуи шишек в ис-

следуемых ценопопуляциях. В ценопопуляциях в устье р. Мезень, бассейнах рек Пинега и Вага у деревьев возрастом до 30 лет диаметр ствола с этими формами близок. Достоверность различий ценопопуляций в бассейне р. Северная Двина подтверждается на 0,1%-м уровне значимости, в устье р. Мезень и бассейнах рек Пинега и Вага — на 1%-м, в устье р. Вычегда — на 5%-м по t -критерию Стьюдента.

У деревьев сосны разных форм установлены дендрохронологические показатели, которые отражают влияние на растение климатических и других факторов. Установлено, что ряды радиального прироста разных ценопопуляций надежны и пригодны для анализа (степень надежности хронологий — 0,78...0,94). Формы крайнесеверотаежной ценопопуляции сосны в устье р. Мезень имеют одинаковые значения по показателю «чувствительности», а у ценопопуляций в бассейнах рек Северная Двина, Пинега, Вага и устья р. Вычегда этот показатель имеет близкие значения. Изменчивость показателя «чувствительности» в более северных ценопопуляциях характеризуется как средняя, а в других — среднеповышенная

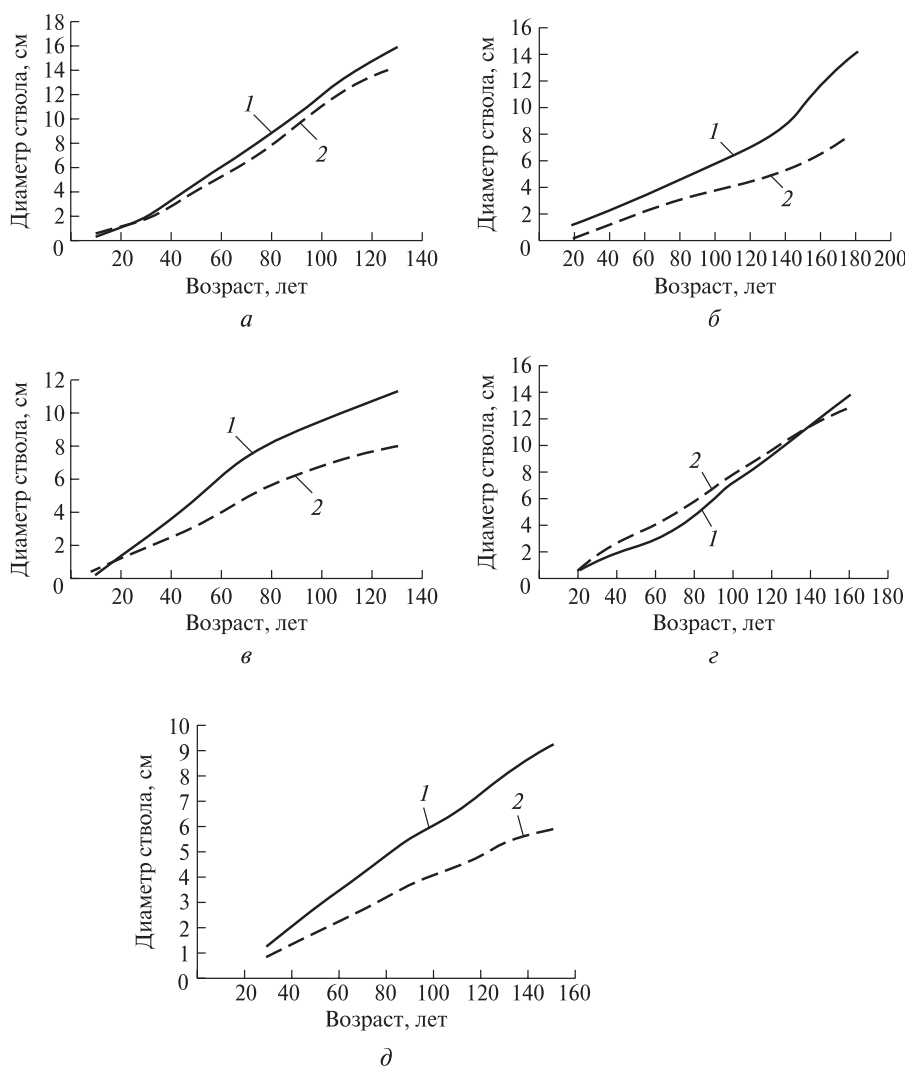


Рис 4. Динамика роста по диаметру ствола в разном возрасте у форм сосны разных ценопопуляций: 1 — деревья с «выпуклой» формой апофиза семенной чешуи шишек; 2 — деревья с «плоской» формой апофиза; а — устье р. Мезень; б — бассейн р. Северная Двина; в — бассейн р. Пинега; г — бассейн р. Вага; д — устье р. Вычегда

Fig 4. Growth dynamics by trunk diameter at different ages in pine forms of different populations: 1 — trees with a «convex» apophysis of the cones seed scales; 2 — trees with a «flat» form of the apophysis; а — the mouth of the Mezen River; б — the Northern Dvina River basin; в — the Pinega River basin; г — the Vaga River basin; д — the Vychegda River mouth

(табл. 1). По данным работы Ferguson C.W. [31], этот показатель у разных форм сосны невысокий, что указывает на слабую реакцию деревьев на комплекс экологических факторов. В районах Севера при длительном увлажнении почв деревья могут быть менее чувствительными к локальным условиям окружающей среды. Ранее было установлено, что у форм сосны с разным цветом пыльников в условиях северной тайги показатель «чувствительности» имеет низкие значения (< 30 %), что согласуется с полученными данными для деревьев с разной формой апофиза семенной чешуи шишек разных ценопопуляций сосны [20].

При оценке климатического отклика в рядах радиального прироста деревьев используются

различные показатели. Так, дополнительно был рассчитан «индекс стресса» у разных форм сосны (за 30-летний период). Нулевое значение этого показателя указывает на устойчивость деревьев к неблагоприятным факторам, а при его высоких значениях — на неустойчивость. В ценопопуляции сосны в устье р. Мезень и бассейне р. Пинега установлены близкие средние значения «индекса стресса». В бассейне р. Северная Двина у деревьев с «выпуклой» формой апофиза семенной чешуи шишек среднее значение «индекса стресса» ниже (большая устойчивость), чем с «плоской» формой апофиза. Ранее выявлено, что значения этого показателя у форм сосны с разным цветом пыльников в бассейне р. Северная Двина соответ-

Т а б л и ц а 1

**Показатель «чувствительности» у форм сосны
разных ценопопуляций в различных местах произрастания, %**

The indicator of «sensitivity» for pine of different populations in different places of growth, %

Место произрастания	Среднее значение		Диапазон варьирования признака		Коэффициент вариации	
	1	2	1	2	1	2
Устье р. Мезень	24	24	14...36	14...31	19	16
Бассейн р. Северная Двина	21	25	8...32	16...35	18	18
Бассейн р. Пинега	19	22	9...27	13...30	21	20
Бассейн р. Вага	27	24	16...39	14...39	21	23
Устье р. Вычегда	22	24	16...30	8...36	16	25

Примечание: 1 — деревья с «выпуклой» формой апофиза семенной чешуи шишек; 2 — деревья с «плоской» формой апофиза семенной чешуи шишек.

Т а б л и ц а 2

«Индекс стресса» у форм сосны разных ценопопуляций

The «stress index» of pine of different populations

Место произрастания	Диапазон колебаний индекса		Среднее значение с ошибкой		Уровень стресса	
	1	2	1	2	1	2
Устье р. Мезень	-0,34...+0,21	-0,43...+0,27	0,257 ± 0,018	0,243 ± 0,020	средний	средний
Бассейн р. Северная Двина	-0,29...+0,25	-0,18...+0,21	0,228 ± 0,012	0,302 ± 0,016	средний	высокий
Бассейн р. Пинега	-0,25...+0,15	-0,25...+0,23	0,139 ± 0,017	0,168 ± 0,021	низкий	низкий
Бассейн р. Вага	-0,34...+0,23	-0,33...+0,27	0,307 ± 0,016	0,233 ± 0,017	высокий	средний
Устье р. Вычегда	-0,17...+0,19	-0,14...+0,17	0,204 ± 0,023	0,146 ± 0,021	средний	низкий

Примечание: 1 — деревья с «выпуклой» формой апофиза семенной чешуи шишек; 2 — деревья с «плоской» формой апофиза семенной чешуи шишек.

ствуют высокому уровню стресса [20], что близко к полученным данным для деревьев с «выпуклой» и «плоской» формами апофиза семенной чешуи шишек. В среднетаежных ценопопуляциях (бассейн р. Вага и устье р. Вычегда) значения «индекса стресса» больше у деревьев с «выпуклой» формой апофиза, чем у деревьев с «плоской» формой. По-видимому, в более благоприятных условиях деревья с «плоской» формой апофиза более устойчивы. В разных ценопопуляциях у форм сосны выявлено от низкого (устойчивого состояния) до высокого (менее устойчивого состояния) уровня «индекса стресса» (табл. 2). Это имеет наследственно обусловленный характер и связано с адаптацией деревьев к условиям почвенного избытка влаги.

Начало и интенсивность формирования побегов зависят от показателей температуры воздуха. Термический режим вегетационного сезона в условиях Севера влияет на все ростовые процессы деревьев. Известно [25, 32, 33], что по северной границе леса единственным лимитирующим климатическим фактором, определяющим прирост, является температура воздуха вегетационного периода. Температура воздуха периода

вегетации является определяющим фактором, влияющим на ростовые процессы деревьев [34]. Ранее было установлено, что в ценопопуляции в бассейне р. Северная Двина за последние 50 лет у деревьев разных форм сосны максимальные (0,45...0,97 мм) и минимальные (0,21...0,42 мм) значения радиального прироста совпадают с повышенной (1,6 °С) и низкой (-1,4 °С) среднегодовой температурой воздуха [21].

Наиболее распространенным инструментом для анализа радиального прироста и климатическими рядами служит коэффициент корреляции [35, 36]. Более сильный климатический сигнал проявляется, если учитывать влияние метеорологических факторов начала вегетации и вегетационного периода. Температура летних месяцев стимулирует фотосинтез и положительно влияет на ростовые процессы деревьев [3]. У форм сосны разных ценопопуляций рассчитан коэффициент корреляций между радиальным приростом (в относительных индексах) и температурой воздуха (среднегодовые значения, средние значения за период начала вегетации, среднее значение за вегетационный период) за 5-летний период (табл. 3).

Т а б л и ц а 3

Средние значения температуры воздуха за 5-летний период
Average values of air temperature over a 5-year period

Район исследования	Температура воздуха, °С		
	Среднегодовая	Начало вегетации (май — июнь)	Вегетационный период (май — сентябрь)
Устье р. Мезень	1,7	11,3	12,7
Бассейн р. Северная Двина	3,2	13,2	13,8
Бассейн р. Пинега	2,8	13,5	13,9
Бассейн р. Вага	4,5	15,0	15,7
Устье р. Вычегда	3,9	14,3	14,7

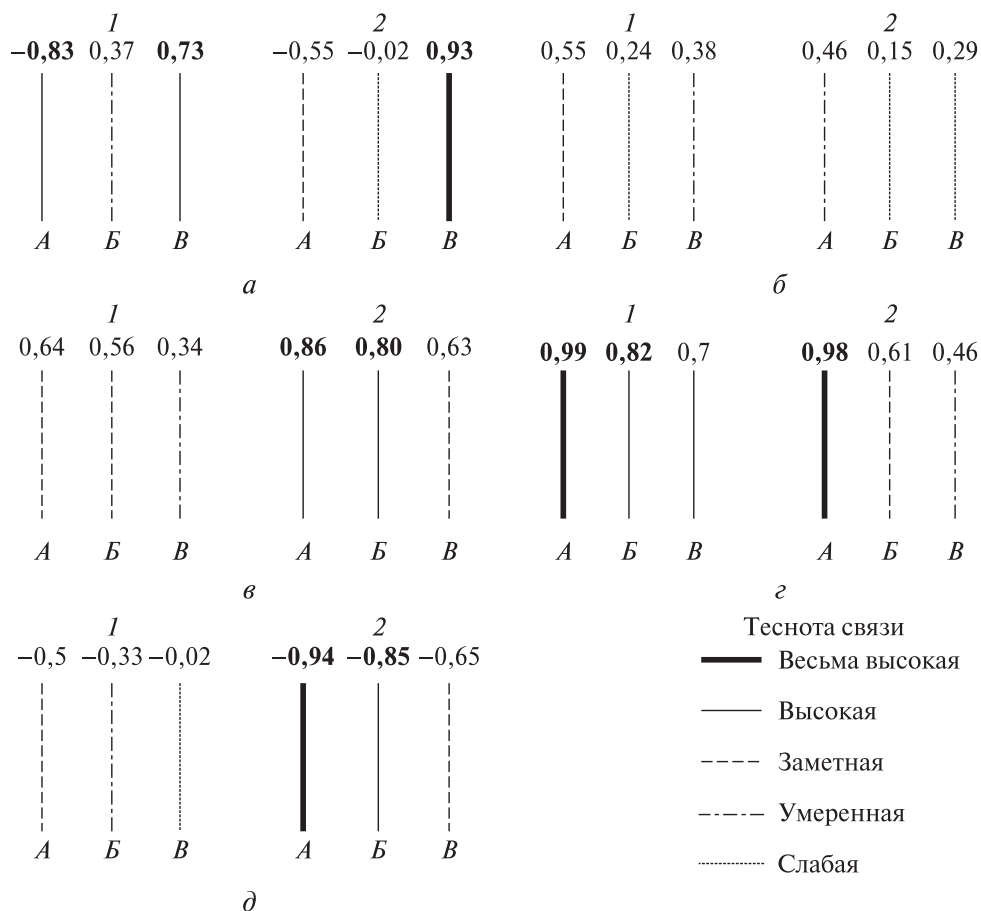


Рис. 5. Коэффициент корреляции температуры воздуха и относительного индекса радиального прироста разных форм сосны: 1 — деревья с «выпуклой» формой апофиза семенной чешуи шишек; 2 — деревья с «плоской» формой апофиза; а — устье р. Мезень; б — бассейн р. Северная Двина; в — бассейн р. Пинега; г — бассейн р. Вага; д — устье р. Вычегда; А — среднегодовая температура воздуха; Б — температура воздуха начала вегетации; В — температура воздуха вегетационного периода; полужирным — уровень значимости ($p < 0,05$)

Fig. 5. Correlation parameter of air temperature and relative index of pine growth : 1 — trees with a «convex» apophysis of the cones seed scales; 2 — trees with «flat» form of the apophysis; а — the mouth of the Mezen River; б — the Northern Dvina River basin; в — the Pinega River basin; г — the Vaga River basin; д — the Vychegda River mouth; А — average annual air temperature; Б — air temperature at the beginning of vegetation; В — air temperature of the growing season; bold — level of significance ($p < 0,05$)

Установлен значимый коэффициент корреляции между приростом и температурой воздуха вегетационного периода (май — сентябрь) в ценопопуляции устья р. Мезень (рис. 5). У деревьев с «плоской» формой апофиза семенной чешуи шишек выявлена более тесная связь между приростом и температурой воздуха по сравнению с деревьями с «выпуклой» формой апофиза. В ценопопуляции в бассейне р. Северная Двина установлен положительный коэффициент корреляции между приростом и среднегодовой температурой воздуха. У деревьев с «плоской» формой апофиза в бассейне р. Пинега установлены высокие связи между приростом и среднегодовой температурой и температурой начала вегетации. В ценопопуляции в бассейне р. Вага установлена очень высокая значимая связь между приростом и среднегодовой температурой воздуха у разных форм сосны. У деревьев с «выпуклой» формой апофиза семенной чешуи шишек высокие значимые связи выявлены между приростом и температурой воздуха начала вегетации, приростом и температурой воздуха периода вегетации. У деревьев в устье р. Вычегда установлена отрицательная очень высокая связь между приростом и среднегодовой температурой и температурой начала вегетации у деревьев с «плоской» формой апофиза семенной чешуи шишек (см. рис. 5).

Выводы

1. У деревьев с «плоской» формой апофиза семенной чешуи шишек значения радиального прироста ниже, чем у деревьев с «выпуклой» формой. Между деревьями выделенных форм в ценопопуляциях сосны в бассейнах рек Северная Двина и Пинега, в устье р. Вычегда и бассейне р. Вага установлены достоверные различия.

2. Разные формы сосны имеют невысокие и близкие значения показателя «чувствительности» (19...27 %).

3. В разных ценопопуляциях сосны деревьям с «выпуклой» и «плоской» формами апофиза семенной чешуи шишек характерно устойчивое и менее устойчивое состояние к условиям почвенного избытка влаги.

4. По радиальному приросту деревьев разных форм и температуре воздуха (среднегодовой, вегетационного периода, начала вегетации) в ценопопуляциях сосны в устьях рек Мезень и Вычегда, бассейнах рек Северная Двина, Пинега и Вага установлены значимые корреляции

Исследования выполнены в рамках государственного задания ФГБУН Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова УрО РАН (№ госрегистрации — 122011400384-2).

Список литературы

- [1] Tchebakova N.M., Rehfeldt G., Parfenova E.I. From vegetation zones to climatypes: Effects of climate warming on Siberian ecosystems // Permafrost ecosystems: Siberian larch forests. Eds. Osawa A., Zyryanova O.A., Matsuura Y., Kajimoto T., Wein R.W. Berlin, Heidelberg, N.Y.: Springer-Verlag, 2010, pp. 427–446. DOI: 10.1007/978-1-4020-9693-8_22
- [2] Замолодчиков Д.Г., Краев Г.Н. Влияние изменений климата на леса России: зафиксированные воздействия и прогнозные оценки // Устойчивое лесопользование, 2016. № 4 (48). С. 23–31.
- [3] Babushkina E.A., Belokopytova L.V. Climatic signal in radial increment of conifers in forest steppe of Southern Siberia and its dependence on local growing conditions // Russian J. of Ecology, 2014, v. 45, no. 5, pp. 325–332. DOI: 10.1134/S1067413614050038
- [4] Бабушкина Е.А., Ваганов Е.А., Силкин П.П. Влияние климатических факторов на клеточную структуру годичных колец хвойных, произрастающих в различных топоэкологических условиях лесостепной зоны Хакасии // Журнал Сибирского федерального университета. Сер. Биология, 2010. Т. 3, № 2. С. 159–176.
- [5] Бабушкина Е.А., Кнорре А.А., Ваганов Е.А., Брюханова М.В. Трансформация климатического отклика в радиальном приросте деревьев микроэкологическими условиями их произрастания // География и природные ресурсы, 2011. № 1. С. 159–166.
- [6] Шашкин Е.А., Ваганов Е.А. Динамика прироста площадей сечения стволов у деревьев в разных районах Сибири в связи с глобальными изменениями температуры // Лесоведение, 2000. № 3. С. 3–11.
- [7] Комин Г.Е. Методика дендрохронологической оценки влияния парникового эффекта на рост леса // Лесоведение, 2003. № 1. С. 58–64.
- [8] Wilmking M., D'Arrigo R., Jacoby G.C., Juday G.P. Increased temperature sensitivity and divergent growth trends in circumpolar boreal forests // Geophysical Research Letters, 2005, v. 32, L15715, pp. 1–4. DOI: 10.1029/2005GL023331
- [9] McGuire A.D., Chapin III F.S., Walsh J.E., Wirth C. Integrated regional changes in Arctic climate feedbacks: implications for the global climate system // Annual Review of Environment and Resources, 2006, v. 31, pp. 61–91. DOI: 10.1146/annurev.energy.31.020105.100253
- [10] Ваганов Е.А., Шиятов С.Г., Мазепа В.С. Дендроклиматические исследования в Урало-Сибирской Субарктике. Новосибирск: Наука, 1996. 246 с.
- [11] Румянцев Д.Е. Влияние климатических факторов на рост сосны в южной Карелии // Лесоведение, 2004. № 5. С. 73–75.
- [12] Магда В.Н., Ваганов Е.А. Климатический отклик прироста деревьев в горных лесостепях Алтая — Саянского региона // Известия РАН. Сер. географическая, 2006. № 5. С. 92–100.
- [13] Naurzbaev M.M., Vaganov E.A., Sidorova O.V. Variability of the air temperature in the north of Eurasia inferred from millennial tree-ring chronologies // Криосфера Земли, 2003. Т. 7, № 2. С. 84–91.
- [14] Briffa K.R., Osborn T.J., Schweingruber F.H. Large-scale temperature inferences from tree rings: a review // Global and Planetary Change, 2004, v. 40, iss. 1–2, pp. 11–26. DOI: 10.1016/S0921-8181(03)00095-X
- [15] Драгавцев В.А. О возможности быстрой оценки адаптивного полиморфизма в естественных популяциях монопоидальных хвойных деревьев // Эко-потенциал, 2016. № 2 (14). С. 22–27.

- [16] Тихонова И.В., Тараканов В.В., Кнорре А.А., Тихонова Н.А. Наследуемость климатического отклика у клонов сосны обыкновенной в условиях Среднеобского бора // Экология, 2015. № 6. С. 411–419. DOI: 10.7868/S0367059715060190
- [17] Правдин Л.Ф. Сосна обыкновенная. Изменчивость, внутривидовая систематика и селекция. М.: Наука, 1964. 192 с.
- [18] Абатурова М.П. Исследование элементарных морфологических признаков ели обыкновенной // Научные основы селекции хвойных древесных пород. М.: Наука, 1978. С. 87–98.
- [19] Видякин А.И. Фены лесных древесных растений: выделение, масштабирование и использование в популяционных исследованиях (на примере *Pinus sylvestris* L.) // Экология, 2001. № 3. С. 197–202.
- [20] Tarkhanov S.N., Pinaevskaya E.A., Aganina Y.E. Adaptive responses of morphological forms of pine (*Pinus sylvestris* L.) under stressful conditions of the northern taiga (in the Northern Dvina Basin) // Contemporary Problems of Ecology, 2018, v. 11, no. 4, pp. 377–387. DOI: 10.1134/S1995425518040091
- [21] Тарханов С.Н., Пинаевская Е.А., Аганина Ю.Е. Особенности адаптации разных форм сосны обыкновенной в условиях длительного избыточного увлажнения почв // ИВУЗ Лесной журнал, 2021. № 2 (380). С. 30–44. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-2-30-44
- [22] Молотков П.И., Патлай И.Н., Давыдова Н.И. Селекция лесных пород. М.: Лесная пром-сть, 1982. 224 с.
- [23] Магда В.Н. Радиальный прирост древесных растений как показатель увлажнения на юге Сибири: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Красноярск, 2003. 17 с.
- [24] Methods of dendrochronology. Application in the Environmental Science / ed. E.R. Cook, L.A. Kairiukstis. Dordrecht, Boston, London: Kluwer Acad. Publishers, 1990, 394 p.
- [25] Шиятов С.Г. Дендрохронология верхней границы леса на Урале. М.: Наука, 1986. 137 с.
- [26] Briffa K.R., Jones P.D. Measuring the statistical quality of a chronology // Methods of dendrochronology: applications in the environmental sciences. Ed. E.R. Cook, L.A. Kairiukstis. Boston, Mass., USA: Kluwer Academic Publishers, 1990, pp. 137–152.
- [27] Fritts H.C. Tree ring and Climate. Caldwell NY USA: Blackburn Press, 2001, 567 p.
- [28] Битвинскас Т.Т. Дендроклиматические исследования. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 172 с.
- [29] Wigley T.M.L., Briffa K.R., Jones P.D. On the average value of correlated time series, with applications in dendrochronology and hydrometeorology // J. of Climate and Applied Meteorology, 1984, v. 23, pp. 201–213. DOI: 10.1175/1520-0450(1984)023<0201:OTAVOC>2.0.CO;2
- [30] Арефьев С.П. Оценка устойчивости кедровых лесов Западно-Сибирской равнины // Экология, 1997. № 3. С. 175–183.
- [31] Ferguson C.W. A 7104-year annual tree-ring chronology for Bristlecone pine, *Pinus aristata*, from the White Mountains, California // Tree-Ring Bulletin, 1969, v. 29, no. 3–4, pp. 3–29.
- [32] Ваганов Е.А., Шашкин А.В. Рост и структура годичных колец хвойных. Новосибирск: Наука, 2000. 214 с.
- [33] Шишов В.В., Ваганов Е.А., Хьюс М.К., Корец М.А. Пространственная изменчивость радиального прироста деревьев на территории Сибири в последнем столетии // Доклады Академии наук, 2002. Т. 387, № 5. С. 690–693.
- [34] Hustish J. The scotch pine in northernmost Finland and its dependence on the climate in the last decades // Acta Botanica Fennica, 1948, no. 42, pp. 1–75.
- [35] Cavin L., Jump A.S. Highest drought sensitivity and lowest resistance to growth suppression are found in the range core of the tree *Fagus sylvatica* L. not the equatorial range edge // Global Change Biology, 2017, v. 23, iss. 1, pp. 362–379. DOI: 10.1111/gcb.13366
- [36] Rozas V., Olano J.M. Dendroclimatic responses of four European broadleaved tree species near their south-western range edges // Dendrobiology, 2017, v. 77, pp. 65–75. DOI:10.12657/DENBIO.077.006

Сведения об авторах

Пинаевская Екатерина Александровна [✉] — канд. биол. наук, ст. науч. сотр. лаборатории приарктических лесных экосистем Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова УрО РАН, aviatorov8@mail.ru

Тарханов Сергей Николаевич — д-р биол. наук, зав. лабораторией приарктических лесных экосистем Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова УрО РАН, tarkse@yandex.ru

Поступила в редакцию 24.03.2022.

Одобрено после рецензирования 26.05.2022.

Принята к публикации 15.08.2022.

PINE (*PINUS SYLVESTRIS* L.) CAMBIAL GROWTH IN TAIGA ZONE OF RUSSIAN EUROPEAN NORTH

E.A. Pinaevskaya✉, S.N. Tarkhanov

N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 23, emb. Northern Dvina, 163069, Arkhangelsk, Russia

aviatorov8@mail.ru

A study was carried out to identify the climatic response in the pine cambial growth under the conditions of excessive moisture in the soils of the northern and middle taiga. The results of the pine trees growth with different apophysis of the cones seed scales from different habitats (the basins of the Northern Dvina, Pinega, Vaga rivers and the mouths of the Mezen and Vychehda rivers) are presented. Significant differences in growth were established between trees with a «convex» and «flat» apophysis of the cones seed scales in the basins of the Northern Dvina, the Pinega and the Vaga rivers and the mouth of the river Vychehda. The values of radial growth in trees with a «flat» apophysis of the cones seed scales are lower than in trees with a «convex» one. It was revealed that different forms of pine have low and close values of the «sensitivity» index (19...27%), and the variability of this indicator in the more northern cenopopulations is characterized as medium, and in others as medium increased. According to the «stress index», trees of different forms are characterized by a stable and less resistant state to conditions of excess moisture. The cenopopulation of pine at the mouth of the river Mezen and the river basin Pinega established close average values for this indicator. In the river basin of the Northern Dvina, in trees with a «convex» shape of apophysis of the cones seed scales, the average value of the «stress index» is lower than with the «flat» apophysis. In the river basin Vaga and the mouth of the river Vychehda the value of the «stress index» is higher in trees with a «convex» apophysis than in trees with a «flat» shape. Significant correlations were established for the radial growth of various pine trees and air temperature in the study areas. The results obtained can be used in solving environmental problems connected with climate change.

Keywords: pine (*Pinus sylvestris* L.), shape of apophysis of the cones seed scales, cambial growth, taiga zone, air temperature

Suggested citation: Pinaevskaya E.A., Tarkhanov S.N. *Klimaticheskii otklik v kambial'nom roste form sosny (Pinus sylvestris L.) taezhnoy zony Evropeyskogo Severa Rossii* [Pine (*Pinus sylvestris* L.) cambial growth in Taiga zone of Russian European North]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 5, pp. 5–14. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-5-5-14

References

- [1] Tchebakova N.M., Rehfeldt G., Parfenova E.I. From vegetation zones to climatypes: Effects of climate warming on Siberian ecosystems. *Permafrost ecosystems: Siberian larch forests*. Eds. Osawa A., Zyryanova O.A., Matsuura Y., Kajimoto T., Wein R. W. Berlin, Heidelberg, N.Y.: Springer-Verlag, 2010, pp. 427–446. DOI: 10.1007/978-1-4020-9693-8_22
- [2] Zamolodchikov D.G., Kraev G.N. *Vliyanie izmeneniy klimata na lesa Rossii: zafiksirovannyye vozdeystviya i prognoznye otsenki* [The impact of climate change on Russian forests: recorded impacts and predictive estimates]. *Ustoychivoe lesopol'zovanie [Sustainable forest management]*, 2016, no. 4 (48), pp. 23–31.
- [3] Babushkina E.A., Belokopytova L.V. Climatic signal in radial increment of conifers in forest steppe of Southern Siberia and its dependence on local growing conditions. *Russian J. of Ecology*, 2014, v. 45, no. 5, pp. 325–332. DOI: 10.1134/S1067413614050038
- [4] Babushkina E.A., Vaganov E.A., Silkin P.P. *Vliyanie klimaticheskikh faktorov na kletochnyuyu strukturu godichnykh kolets khvoynykh, proizrastayushchikh v razlichnykh topoekologicheskikh usloviyakh lesostepnoy zony Khakassii* [Influence of climatic factors on tree-ring cell structure of conifers growing in different topoecological conditions in the forest-steppe zone of Khakassia]. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Ser. Biologiya [Journal of the Siberian Federal University. Biology series]*, 2010, t. 3, no. 2, pp. 159–176.
- [5] Babushkina E.A., Knorre A.A., Vaganov E.A., Bryukhanova M.V. *Transformatsiya klimaticheskogo otklika v radial'nom priroste derev'ev mikroekologicheskimi usloviyami ikh proizrastaniya* [Transformation of climatic response in radial increment of trees depending on topoecological conditions of their occurrence]. *Geografiya i prirodnye resursy [Geography and natural resources]*, 2011, no. 1, pp. 159–166.
- [6] Shashkin E.A., Vaganov E.A. *Dinamika prirosta ploshchadey secheniya stvolov u derev'ev v raznykh rayonakh Sibiri v svyazi s global'nymi izmeneniyami temperatury* [Dynamics of increase in cross-sectional areas of tree trunks in different regions of Siberia due to global temperature changes]. *Lesovedenie [Russian Journal of Forest Science]*, 2000, no. 3, pp. 3–11.
- [7] Komin G.E. *Metodika dendrokronologicheskoy otsenki vliyaniya parnikovogo efekta na rost lesa* [Methods of dendrochronological estimation of greenhouse effect on growth of forest]. *Lesovedenie [Russian Journal of Forest Science]*, 2003, no. 1, pp. 58–64.
- [8] Wilmsing M., D'Arrigo R., Jacoby G.C., Juday G.P. Increased temperature sensitivity and divergent growth trends in circumpolar boreal forests. *Geophysical Research Letters*, 2005, v. 32, L15715, pp. 1–4. DOI: 10.1029/2005GL023331
- [9] McGuire A.D., Chapin III F.S., Walsh J.E., Wirth C. Integrated regional changes in Arctic climate feedbacks: implications for the global climate system. *Annual Review of Environment and Resources*, 2006, v. 31, pp. 61–91. DOI: 10.1146/annurev.energy.31.020105.100253
- [10] Vaganov E.A., Shiyatov S.G., Mazepa V.S. *Dendroklimaticheskie issledovaniya v Uralo-Sibirskoy Subarktike* [Dendroclimatic research in the Ural-Siberian Subarctic]. Novosibirsk: Nauka [The Science], 1996, 246 p.
- [11] Rummyantsev D.E. *Vliyanie klimaticheskikh faktorov na rost sosny v yuzhnoy Karelii* [Influence of climatic factors on growth of pine in Southern Karelia]. *Lesovedenie [Russian Journal of Forest Science]*, 2004, no. 5, pp. 73–75.
- [12] Magda V.N., Vaganov E.A. *Klimaticheskii otklik prirosta derev'ev v gornykh lesostepnykh Altaya — Sayanskogo regiona* [Climate response on the mountain forest-steppe in Altay — Sayany region]. *Izvestiya RAN. Ser. geograficheskaya [Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Geographic series]*, 2006, no. 5, pp. 92–100.
- [13] Naurzbaev M.M., Vaganov E.A., Sidorova O.V. Variability of the air temperature in the north of Eurasia inferred from millennial tree-ring chronologies. *Kriosfera Zemli [Earth's cryosphere]*, 2003, t. 7, no. 2, pp. 84–91.
- [14] Briffa K.R., Osborn T.J., Schweingruber F.H. Large-scale temperature inferences from tree rings: a review. *Global and Planetary Change*, 2004, v. 40, iss. 1–2, pp. 11–26. DOI: 10.1016/S0921-8181(03)00095-X

- [15] Dragavtsev V.A. *O vozmozhnosti bystroy otsenki adaptivnogo polimorfizma v estestvennykh populyatsiyakh monopodial'nykh khvoynnykh derev'ev* [The possibility of fast estimation of adaptive polymorphism in natural populations of monopodial coniferous trees]. *Eko-potentsial* [Eco potential], 2016, no. 2 (14), pp. 22–27.
- [16] Tikhonova I.V., Tarakanov V.V., Knorre A.A., Tikhonova N.A. *Nasleduemost' klimaticheskogo otklika u klonov sosny obyknovennoy v usloviyakh Sredneobskogo bora* [Heritability of the climatic response in scotch pine clones under conditions of the Sredneobskiy pine forest]. *Ekologiya* [Russian Journal of Ecology], 2015, no. 6, pp. 411–419. DOI: 10.7868/S036705971506019
- [17] Pravdin L.F. *Sosna obyknovennaya. Izmenchivost', vnutrividovaya sistematika i selektsiya* [Scots pine. Variability, intraspecies taxonomy and selection]. Moscow: Nauka [The Science], 1964, 194 p.
- [18] Abaturova M.P. *Issledovanie elementarnykh morfologicheskikh priznakov eli obyknovennoy*. Nauchnye osnovy selektsii khvoynnykh drevesnykh porod [Study of elementary morphological characters of common spruce]. Nauchnye osnovy selektsii khvoynnykh drevesnykh porod [Scientific basis of conifer genus selection]. Moscow: Nauka [The Science], 1978, pp. 87–98.
- [19] Vidyakin A.I. *Feny lesnykh drevesnykh rasteniy: vydelenie, masshtabirovanie i ispol'zovanie v populyatsionnykh issledovaniyakh (na primere Pinus sylvestris L.)* [Phenes of woody plants: identification, scaling and use in population studies (an example of *Pinus sylvestris* L.)]. *Ekologiya* [Russian Journal of Ecology], 2001, no. 3, pp. 197–202.
- [20] Tarkhanov S.N., Pinaevskaya E.A., Aganina Y.E. Adaptive responses of morphological forms of pine (*Pinus sylvestris* L.) under stressful conditions of the northern taiga (in the Northern Dvina Basin). *Contemporary Problems of Ecology*, 2018, v. 11, no. 4, pp. 377–387. DOI: 10.1134/S1995425518040091
- [21] Tarkhanov S.N., Pinaevskaya E.A., Aganina Y.E. *Osobennosti adaptatsii raznykh form sosny obyknovennoy v usloviyakh dlitel'nogo izbytochnogo uvlazhneniya pochv* [Features of adaptation of different forms of scots pine under conditions of prolonged excessive soil moistening]. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2021, no. 2 (380), pp. 30–44. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-2-30-44
- [22] Molotkov P.I., Patlay I.N., Davydova N.I. *Selektsiya lesnykh porod* [Selection forest species]. Moscow: Lesnaya prom-t' [Forest Industry], 1982, 223 p.
- [23] Magda V.N. *Radial'nyy prirost drevesnykh rasteniy kak pokazatel' uvlazhneniya na yuge Sibiri* [Radial growth of woody plants as an indicator of moisture in the south of Siberia]. Dis. Cand. Sci. (Biol.). Krasnoyarsk, 2003, 17 p.
- [24] *Methods of dendrochronology. Application in the Environmental Science*. Ed. E.R. Cook, L.A. Kairiukstis. Dordrecht, Boston, London: Kluwer Acad. Publishers, 1990, 394 p.
- [25] Shiyatov S.G. *Dendrokronologiya verkhney granitsy lesa na Urale* [Dendrochronology of the Upper Forest Margin in Ural]. Moscow: Nauka [The Science], 1986, 137 p.
- [26] Briffa K.R., Jones P.D. Measuring the statistical quality of a chronology. *Methods of dendrochronology: applications in the environmental sciences*. Ed. E.R. Cook, L.A. Kairiukstis. Boston, Mass., USA: Kluwer Academic Publishers, 1990, pp. 137–152.
- [27] Fritts H.C. *Tree ring and Climate*. Caldwell NY USA: Blackburn Press, 2001, 567 p.
- [28] Bitvinskis T.T. *Dendroklimaticheskie issledovaniya* [Dendroclimatic Analysis]. Leningrad: Gidrometeoizda [Gidrometeoizdat Publ.], 1974, 172 p.
- [29] Wigley T.M.L., Briffa K.R., Jones P.D. On the average value of correlated time series, with applications in dendrochronology and hydrometeorology. *J. of Climate and Applied Meteorology*, 1984, v. 23, pp. 201–213. DOI: 10.1175/1520-0450(1984)023<0201:OTAVOC>2.0.CO;2
- [30] Aref'ev S.P. *Otsenka ustoychivosti kedrovyykh lesov Zapadno-Sibirskoy ravniny* [Assessment of the stability of the siberian stone pine forest in the Western Siberian Plain]. *Ekologiya* [Russian Journal of Ecology], 1997, no. 3, pp. 175–183.
- [31] Ferguson C.W. A 7104-year annual tree-ring chronology for Bristlecone pine, *Pinus aristata*, from the White Mountains, California. *Tree-Ring Bulletin*, 1969, v. 29, no. 3–4, pp. 3–29.
- [32] Vaganov E.A., Shashkin A.V. *Rost i struktura godichnykh kolets khvoynnykh* [Growth and structure of coniferous growth rings]. Novosibirsk: Nauka [The Science], 2000, 214 p.
- [33] Shishov V.V., Vaganov E.A., Hughes M.K., Korets M.A. *Prostranstvennaya izmenchivost' radial'nogo prirosta derev'ev na territorii Sibiri v poslednem stoletii* [Spatial variability in the annual tree-ring growth in Siberia in the past century]. *Doklady Akademii nauk* [Doklady Earth Sciences], 2002, t. 387, no. 5, pp. 690–693.
- [34] Hustish J. The scotch pine in northernmost Finland and its dependence on the climate in the last decades. *Acta Botanica Fennica*, 1948, no. 42, pp. 1–75.
- [35] Cavin L., Jump A.S. Highest drought sensitivity and lowest resistance to growth suppression are found in the range core of the tree *Fagus sylvatica* L. not the equatorial range edge. *Global Change Biology*, 2017, v. 23, iss. 1, pp. 362–379. DOI: 10.1111/gcb.13366
- [36] Rozas V., Olano J.M. Dendroclimatic responses of four European broadleaved tree species near their south-western range edges. *Dendrobiology*, 2017, v. 77, pp. 65–75. DOI:10.12657/DENBIO.077.006

The research was carried out within the framework of the state task of the Federal Research Center for the Comprehensive Study of the Arctic named after academician N.P. Laverov Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (state registration number — 122011400384-2).

Authors' information

Pinaevskaya Ekaterina Aleksandrovna  — Cand. Sci (Biology), Senior Researcher of Laboratory of Subarctic Forest Ecosystems of N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, aviatorov8@mail.ru

Tarkhanov Sergey Nikolaevich — Dr. Sci. (Biology), Head of the Laboratory of Subarctic Forest Ecosystems of N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, tarkse@yandex.ru

Received 24.03.2022.

Approved after review 26.05.2022.

Accepted for publication 15.08.2022.

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

АНАЛИЗ РОСТА ОСИНЫ (*POPULUS TREMULA* L.), ПОЛУЧЕННОЙ МЕТОДОМ *IN VITRO* В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

Г.А. Петрова^{1✉}, Е.А. Калашникова², А.Р. Мухаметшина¹

¹ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», Россия, Республика Татарстан, г. Казань, п. Дербышки, ул. Главная, д. 69

²ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева», Россия, 127550, г. Москва, Лиственничная аллея, д. 3

guzel-petrva@rambler.ru

Приведены результаты эксперимента по размножению устойчивых к сердцевинной гнили клонов осины (*Populus tremula* L.) диплоидного и триплоидного генотипа методами микроклонального размножения и внедрения их в лесохозяйственное производство в условиях Республики Татарстан. Обоснована целесообразность применения данного метода в условиях Республики Татарстан для получения здорового посадочного материала осины, отличающейся быстрым ростом. Показана перспективность размножения клона № 35 с триплоидным генотипом и внедрения их в лесохозяйственное производство в условиях Республики Татарстан.

Ключевые слова: осина, диплоидный генотип, триплоидный генотип, *in vitro*

Ссылка для цитирования: Петрова Г.А., Калашникова Е.А., Мухаметшина А.Р. Анализ роста осины (*Populus tremula* L.), полученной методом *in vitro* в условиях Республики Татарстан // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 5. С. 15–22. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-5-15-22

Осина (*Populus tremula* L.) — одна из быстрорастущих древесных пород, а древесина здоровой осины ценится довольно высоко. Распространена по всей территории России и приспособлена к лесным условиям. Данная порода неприхотлива и растет на среднеплодородных почвах, устойчива к морозам [1–3]. Как показали исследования, здоровая осина обладает многими ценными лесоводственными и хозяйственными свойствами, эффективно используется в качестве источника тепловой энергии [2, 6, 7]. В связи с этим в настоящее время важнейшей задачей лесоводов является создание и выращивание здоровых и высокопродуктивных осиновых насаждений [4–6]. К сожалению, осина склонна к поражению грибными болезнями, вызывающими сердцевинную гниль стволов, что приводит к снижению качества ее древесины [7–10]. Однако в пределах Республики Татарстан встречаются высокопродуктивные устойчивые к грибным болезням клоны. Вопрос заготовки деловой осины в достаточном объеме и получения дохода от ее реализации в бюджеты разных уровней давно интересует исследователей, поскольку традиционные способы вегетативного размножения не всегда имеют успех.

В настоящее время перспективную альтернативу традиционным методам селекции составляют методы клеточной биотехнологии [3, 11, 12]. В частности для размножения осины в промышленных масштабах и сохранения ее биоразнообра-

зия используют технологии клонального микро размножения — неполовым путем в условиях *in vitro*. Этот способ позволяет осуществлять размножение трудно размножающихся или совсем не размножающихся растений традиционными вегетативными способами. Важное преимущество микроклонального размножения — это сокращение продолжительности селекционного процесса. Кроме того, можно повысить качество посадочного материала древесных растений за счет его оздоровления и селективного размножения только лучших генотипов [11, 13]. Очень важно при этом в качестве исходного материала отбирать ценные экземпляры.

Существует много методов клонального микро размножения. В России некоторые научно-исследовательские институты уже освоили эти методы и разрабатывают промышленную технологию размножения элитных клонов осины. Такой технологии получения посадочного материала уделяют большое внимание во многих странах [14–16].

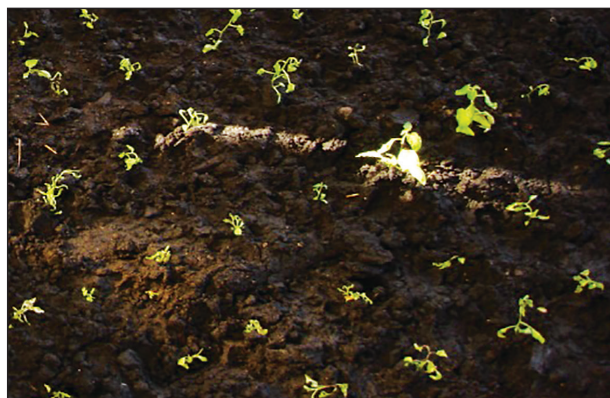
Опыт культивирования элитных клонов осины с применением метода *in vitro* говорит о том, что этот метод весьма перспективен для использования в лесном хозяйстве [14–19]. С его помощью можно размножать не только осину, но и другие быстрорастущие древесные породы. Осина, выращенная в условиях *in vitro*, растет в 2 раза быстрее обычной и является более устойчивой к грибным болезням [1, 3, 13, 20]. В связи с этим формирование продуктивных и устойчивых осиновых биогеоценозов признано актуальным.

Цель работы

Цель работы — анализ роста осины, полученной методом *in vitro* в условиях Республики Татарстан.

Объекты и методы исследований

Анализ роста осины был проведен в период с 2007 по 2020 гг. Использовались два устойчивых к сердцевинной гнили генотипа осины, выращенные в тремлетуме Костромской лесной опытной станции, характеризующиеся различной плоидностью: клон № 34 диплоидного генотипа (f2), клон № 35 — триплоидного (f11). С данных клонов были заготовлены побеги для получения здорового посадочного материала. Выращивание регенерантов обоих генотипов осины проводилось с использованием питательной среды Мурасига и Скуга (MS) с добавлением экзогенных стимуляторов роста — α -нафтилуксусной кислоты (НУК) в концентрации 0,02 мг/л и 6-бензиламинопурина (БАП) в концентрации 0,5 мг/л при введении в культуру и 0,1 мг/л — при дальнейшем



a



b

Рис. 1. Пересаженные в теплицу (*a*) и пикировочные пакеты (*b*) растения-регенеранты

Fig. 1. Repotted into the greenhouse (*a*) picking packages (*b*) regenerated plants

микрочеренковании. Важным этапом при микроклональном размножении является стерилизация, которую осуществляли с помощью белизны. После этого готовили почечную меристему для введения в культуру путем удаления почечных чешуек и прилегающих к меристеме листочков. Далее готовый эксплант вводили в культуру. Колбы с растительным материалом ставили в световую комнату с круглосуточным освещением при интенсивности 1250 люкс и температуре 23 °С. В этих условиях происходило формирование микропобегов осины, которые в дальнейшем размножали путем микрочеренкования.

Размноженные микрочеренки укореняли путем добавления в питательную среду β -индолил-3-масляной кислоты (ИМК) в концентрации 2 мг/л. В течение 1 мес. пересаженные микрочеренки выращивали в световой комнате при соблюдении того же светового и температурного режима. За 1 мес. они вырастали и укоренялись. Сформированные таким образом пробирочные растения пересаживали для дальнейшей акклиматизации в теплицу со всеми необходимыми условиями — поливом, подкормкой, комфортной влажностью воздуха и обеспечивали соответствующий агротехнический уход. Половину выращенных в пробирке растений пересадили непосредственно в почвогрунт, другую половину — в пикировочные пакеты (рис. 1). Пересаженные растения ежедневно подкармливали смесью минерального удобрения «Кемира Люкс» с мелом (или известью).

Результаты исследований

В течение 30 дней формировались микропобеги на первичном экспланте. По нашим наблюдениям, меристема триплоидной осины начала расти на 5-й день после введения в культуру, тогда как меристема диплоидной осины пошла в рост на 2 дня позднее. Это свидетельствует о том, что клон № 35 отличается большим морфогенетическим потенциалом по сравнению с клоном № 34. В течение 1 мес. выращивания микропобеги триплоидных форм достигали высоты 3 см, а диплоидные — всего 1 см. Наличие достоверной разницы между сравниваемыми формами по выживаемости почек и формированию побегов было доказано с помощью *t*-критерия Стьюдента ($t = 5,1 > 3$).

Сформированные микропобеги осины черенковали и пересаживали на свежую питательную среду, содержащую стимулятор корнеобразования. В течение 40...45 дней происходило формирование растений с развитой корневой системой (рис. 2). Как показали результаты, более интенсивный рост наблюдался у осины с триплоидным генотипом. Микропобеги таких клонов давали больше микрочеренков.

Т а б л и ц а 1
Показатели роста диплоидных
и триплоидных регенерантов осины
Growth rates of diploid and triploid aspen
regenerants

Показатель	Клон № 34 (f2)	Клон № 35 (f11)
Средняя высота H , см	$1,5 \pm 0,4$	$3,7 \pm 0,2$
Количество растений с корнями, %	$76,0 \pm 0,2$	$95,0 \pm 0,3$

Результаты исследования показали, что высота побегов регенерантов триплоидных осин была в 3 раза больше по сравнению с диплоидными формами, а также наблюдалась существенная разница по развитию корневой системы между этими формами. Так, количество растений со сформированной корневой системой у триплоидных осин оказалось практически на 20 % больше, чем у диплоидных (табл. 1).

Достоверная разница по высоте пробирочных растений подтверждена рассчитанным критерием Стьюдента (t) — $t = 5 > 3$. По количеству растений с корнями также установлена достоверная разница, подтвержденная t -критерием Стьюдента ($t = 52,3 > 3$). По данным табл. 1 была построена диаграмма сравнительного анализа роста регенерантов обоих генотипов осины перед высадкой их в теплицу (рис. 3).

На следующем этапе требовалась адаптация пробирочных растений к внешним условиям. С этой целью растения-регенеранты со сформированной корневой системой были пересажены в теплицу (рис. 4).

Наблюдения за процессом адаптации показали, что на приживаемость пробирочных растений повлиял срок их пересадки. Наиболее благоприятным оказался период весна — начало лета. В среднем приживаемость растений в условиях *in vivo* составила около 50 %. Неблагоприятное воздействие на процесс адаптации растений-регенерантов оказали погодные условия — после высадки была высокая температура воздуха (рис. 5).

Согласно проведенным наблюдениям за влиянием субстрата на приживаемость и дальнейший рост растений-регенерантов осины в условиях теплицы, все испытываемые субстраты пригодны для выращивания саженцев. Однако эффективность субстратов была различной [13]. Наилучшая приживаемость была отмечена на субстрате № 2 состава почвогрунт + дерновая почва + песок (1:1:1). Меньшая эффективность наблюдалась на субстрате № 3, представленном одним типом почвогрунта, и субстрате № 1 состава почвогрунт + песок (1:1).



Рис. 2. Проросток осины, клон № 35
Fig. 2. Aspen seedling, clone No. 35

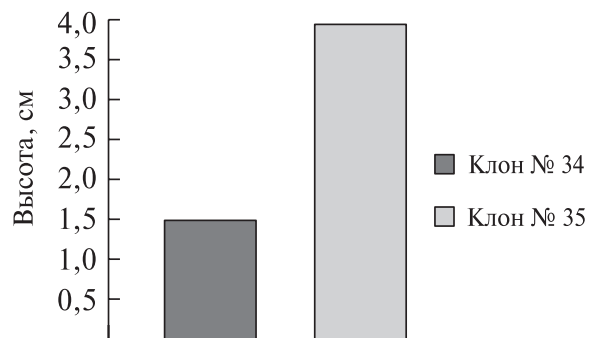


Рис. 3. Результаты биометрического анализа по высоте диплоидных и триплоидных регенерантов осины
Fig. 3. Biometric analysis results of the diploid and triploid aspen regenerants height



Рис. 4. Пересаженное пробирочное растение осины, клон № 35
Fig. 4. Repotted test-tube plant of aspen, clone No. 35



Рис. 5. Саженьцы осины, готовые к пересадке на лесокультурную площадь
 Fig. 5. Aspen seedlings ready to be planted to the silvicultural area



Рис. 6. Маточная плантация триплоидной осины Дендрологического сада Государственного казенного учреждения «Сабинское лесничество», 2020 г.
 Fig. 6. Mother plantation of triploid aspen of the Dendrological Garden of the State Treasury Institution «Sabinsky Forestry», 2020

Т а б л и ц а 2
Статистический анализ биометрических показателей растений-регенерантов осины
 Biometric parameters statistical analysis of aspen regenerated plants

Показатель	Диплоидный генотип	Триплоидный генотип
Показатели по высоте регенерантов, см		
Высота регенерантов H , см	1,8	3,9
Среднее квадратическое отклонение σ	0,6	1
Ошибка среднего значения m_x	0,02	0,05
Точность опыта P , %	1,1	1,3
Коэффициент вариации V , %	31	25,6
Показатели по длине корней регенерантов, см		
Длина корней H , см	2,7	4,2
Среднее квадратическое отклонение σ	0,6	1
Ошибка среднего значения m_x	0,03	0,06
Точность опыта P , %	1,1	1,4
Коэффициент вариации V , %	20,1	23,8

В табл. 2 приведены результаты статистического анализа биометрических показателей регенерантов осины.

Исследования показали, что на успешность адаптации растений-регенерантов к внешним условиям влияют следующие факторы: генотип растения, высота регенерантов, длина корневой системы, сроки высадки, способ перенесения регенерантов из пробирок в субстрат, качество субстрата и др. [3]. Установлено, что осина с триплоидным генотипом имела лучшую адап-

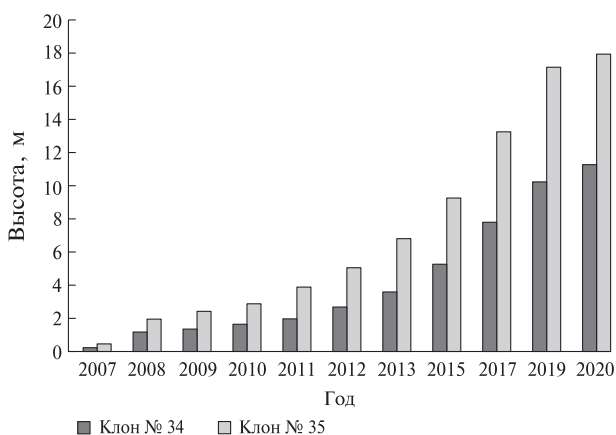


Рис. 7. Сравнительная динамика роста разноплоидных клонов осины за период с 2007 по 2020 гг.
 Fig. 7. Comparative growth dynamics of heteroploid aspen clones for the period from 2007 to 2020

тационную способность (65 %), нежели осина с диплоидным генотипом (30 %). Вместе с тем триплоидные формы имели высоту побега в 2 раза больше, чем диплоидные формы [21, 22].

Адаптированные к внешним условиям растения осины были перенесены на лесокультурную площадь. Для этого на территории Дендрологи-

ческого сада Государственного казенного учреждения «Сабинское лесничество» была создана первая маточная плантация осины (рис. 6). Все высаженные на лесокультурную площадь саженцы осины прижились.

На протяжении всего периода исследования, начиная с момента посадки в 2007 г., показатели средней высоты триплоидных клонов в среднем в 2 раза превышают диплоидные генотипы (рис. 7). Различия по *t*-критерию Стьюдента достоверны. В возрасте 13 лет высота и диаметр триплоидного клона в 1,2 и 1,7 раза соответственно преобладают по сравнению с диплоидным. Это привело к увеличению среднего объема ствола в 3 раза [23].

Быстрота роста осинников и их устойчивость против сердцевинной гнили взаимосвязаны. Быстрорастущие формы осины оказались наиболее гнилоустойчивыми [10, 24]. Этот показатель, в первую очередь, зависит от индивидуальных особенностей той или иной формы осины. Таким образом, важно сохранить и продолжить воспроизводство ценного генофонда триплоидных клонов осины.

Выводы

Методы микроклонального размножения растений успешно позволяют получать необходимое количество посадочного материала высокопродуктивных устойчивых к сердцевинной гнили клонов осины. В условиях Республики Татарстан наиболее перспективным оказался клон с триплоидным генотипом.

Список литературы

- [1] Бовичева Н.А., Шабунин Д.А., Жигунов А.В. Выращивание саженцев триплоидной осины из регенерантов, полученных по технологии *in vitro* // Труды Санкт-Петербургского НИИ лесного хозяйства, 2006. Вып. 3 (16). С. 68–76.
- [2] Газизуллин А.Х., Мубаракзянова Г.А., Бурганов Ф.Г. Осинники Республики Татарстан, их хозяйственное значение, современное состояние и проблемы повышения их экономического и экологического потенциала // Леса, лесной сектор и экология Республики Татарстан: сб. науч. статей КГСХА. Казань: Школа, 2005. Вып. 1. С. 169–177.
- [3] Петрова Г.А., Калашникова Е.А. Применение методов клеточной биотехнологии для сохранения биоразнообразия осины (*Populus tremula* L.) // Вестник Казанского государственного аграрного университета, 2008. Т. 3. № 1 (7). С. 147–150.
- [4] Александров О.С., Карлов Г.И. Развитие *Populus alba* L. и *Populus tremula* L. Видоспецифичные молекулярные маркеры на основе нетранскрибированного спейсерного полиморфизма 5S рДНК // Forests, 2019. № 10 (12). С. 1092.
- [5] Байбурун Р.К. Интродукция древесных растений, выращенных в культуре *in vitro* // Генетика и селекция на службе лесу: тез. докл. междунар. науч.-практ. конф. Воронеж: Изд-во ВЛТА, 1996. С. 11–13.
- [6] Яблоков А.С. Воспитание и разведение здоровой осины. М.: Гослесбумиздат, 1963. 440 с.
- [7] Баранчугов Е.Г. Задачи и проблемы лесной селекции в Республике Татарстан // Леса, лесной сектор и экология Республики Татарстан: сб. науч. статей КГСХА. Казань: Школа, 2005. Вып. 1. С. 30–33.
- [8] Гарипов Н.Р., Пуряев А.С. Структура осинников Закамья Республики Татарстан // Лесохозяйственная информация, 2017. № 4. С. 19–27. DOI 10.24419/LNI.2304-3083.2017.4.02
- [9] Машкина О.С., Шабанова Е.А., Вариводина И.Н. Полевые испытания размноженных *in vitro* клонов осины (*Populus tremula* L.): рост, продуктивность, качество древесины, генетическая стабильность // ИВУЗ Лесной журнал, 2019. № 6. С. 25–38.
- [10] Яблоков А.С. Исполинская форма осины в лесах СССР // Труды ВНИИЛХ. М.: Изд-во ВНИИЛХ, 1941. 52 с.
- [11] Жигунов А.В., Шабунин Д.А., Бутенко О.Ю. Лесные плантации триплоидной осины, созданные посадочным материалом *in vitro* // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование, 2014. № 4 (24). С. 21–30.
- [12] Tullus A., Rytter L., Tullus T. Short-Rotation Forestry with Hybrid Aspen (*Populus tremula* L. × *P. tremuloides* Michx.) in Northern Europe // Scandinavian Journal of Forest Research, 2012, v. 27, iss. 1, pp. 10–29.
- [13] Мухаметшина А.Р., Петрова Г.А., Шайхразиев Ш.Ш., Гибадуллин Н.Ф., Русакова Э.С. Эффективность применения стимуляторов роста при выращивании ели европейской (*Picea abies* L.) в закрытом грунте // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 3. С. 81–86. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-3-81-86
- [14] Шабунин Д.А., Быченкова Э.А. Осина размноженная методом *in vitro* — перспективная порода для плантационного выращивания на сельскохозяйственных землях // Проблемы комплексного использования и мелиорации земель на водосборе: Материалы Междунар. симп. СПб.: Изд-во СПбНИИЛХ, 2002. С. 30–32.
- [15] Шабунин Д.А., Подольская В.А. Осина из пробирики // Лесная Россия, 2005. № 10. С. 24–25.
- [16] Greer V.T., Still C., Cullinan G.L. Polyploidy Influences Plant-Environment Interactions in Quaking Aspen (*Populus tremuloides* Michx.) // Tree Physiology, 2018, v. 38, iss. 4, pp. 630–640.
- [17] Лебедева М.В., Левкоев Э.А., Волков В.А. Опыт восстановления утраченных селекционных достижений *Populus × leningradensis* Bogd. и *Populus × newensis* Bogd. на основе микросателлитного анализа // Генетика, 2016. Т. 52. № 10. С. 1159–1168.
- [18] Campbell M.M., Brunner A.M., Jones H.M. Forestry's fertile crescent: the application of biotechnology to forest trees // Plant Biotechnology J., 2003, v. 1, pp. 141–154.
- [19] Pozdnyakov I., Azarova A., Shestibratov K. Effect of the Volume of Production of Planting Material on the Basis of Clonal Micropropagation on the Cost Price of Invited-Rooted Birch and Aspen Microplants // International J. of Environmental & Science Education, 2016, v. 11, no. 18, pp. 12031–12048.
- [20] Жигунов А.В. Применение биотехнологий в лесном хозяйстве России // ИВУЗ Лесной журнал, 2013. № 2. С. 40–45.
- [21] Петрова Г.А. Получение здорового посадочного материала осины (*Populus tremula* L.) из каллусной ткани с целью оздоровления осинников Республики Татарстан // Уч. зап. Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана, 2011. Т. 205. С. 169–173.

- [22] Petrova G.A., Yatmanova N.M., Mukhametshina A.R. Microclonal reproduction of common aspen (*Populus tremula* L.) genotypes in the Republic of Tatarstan // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Cheboksary, 16 April 2021. Cheboksary, 2021, p. 012003. DOI: 10.1088/1755-1315/935/1/012003
- [23] Ulrich K., Ewald D. Breeding Triploid Aspen and Poplar Clones for Biomass Production // *Silvae Genetica*, 2014, v. 63, iss. 1–6, pp. 47–58.
- [24] Багаев С.Н., Коренев И.А., Багаев С.С. Особенности формирования быстрорастущих клонов в генетическом резервате исполинской осины // *Лесное хозяйство*, 2013. № 2. С. 26–28.
- [25] Газизуллин А.Х., Гарипов Н.Р., Пуряев А.С. Результаты исследования четырехлетних опытных культур осины, созданных в Республике Татарстан методами биотехнологии // *Вестник Казанского государственного аграрного университета*, 2011. Т. 6. № 3 (21). С. 118–120.

Сведения об авторах

Петрова Гузель Анисовна — канд. с.-х. наук, доцент кафедры лесоводства и лесных культур факультета лесного хозяйства и экологии, ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», guzel-petrva@rambler.ru

Калашникова Елена Анатольевна — д-р биол. наук, профессор кафедры биотехнологии института агробиотехнологии, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева», kalash0407@mail.ru.

Мухаметшина Айгуль Рамилевна — канд. с.-х. наук, доцент кафедры лесоводства и лесных культур факультета лесного хозяйства и экологии, ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», aigulsafina@yandex.ru

Поступила в редакцию 17.03.2022.

Одобрено после рецензирования 13.05.2022.

Принята к публикации 15.08.2022.

GROWTH ANALYSIS OF ASPEN (*POPULUS TREMULA* L.) PRODUCED BY IN VITRO METHOD IN REPUBLIC OF TATARSTAN

G.A. Petrova¹, E.A. Kalashnikova², A.R. Mukhametshina¹

¹Kazan State Agrarian University, 69, Glavnaya st., 420075, Derbyshki, Kazan, Republic of Tatarstan, Russia

²Russian State Agrarian University — Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, 3, Listvennichnaya alley, 127550, Moscow, Russia

guzel-petrva@rambler.ru

The paper presents the results of an experiment on the aspen clones (*Populus tremula* L.) reproduction resistant to heart rot of the diploid and triploid genotype by micropropagation methods and their introduction into forestry production in the conditions of the Republic of Tatarstan. The expediency of using this method in the conditions of the republic for obtaining healthy planting material of aspen, which is characterized by rapid growth, is substantiated. The prospects of clone No. 35 with a triploid genotype reproduction and its introduction into forestry production in the conditions of the Republic of Tatarstan are shown.

Keywords: aspen, diploid genotype, triploid genotype, in vitro

Suggested citation: Petrova G.A., Kalashnikova E.A., Mukhametshina A.R. *Analiz rosta osiny (Populus tremula L.), poluchennykh metodom in vitro v usloviyakh Respubliki Tatarstan* [Growth analysis of aspen (*Populus tremula* L.) produced by in vitro method in Republic of Tatarstan]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 5, pp. 15–22. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-5-15-22

References

- [1] Bovicheva N.A., Shabunin D.A., Zhigunov A.V. *Vyrashchivanie sazhtentsev triploidnoy osiny iz regenerantov, poluchennykh po tekhnologii in vitro* [Cultivation of triploid aspen seedlings from regenerated plants obtained by in vitro technology]. *Trudy Sankt-Petersburgskogo NII lesnogo khozyaystva* [Proceedings of the St. Petersburg Research Institute of Forestry], 2006, iss. 3 (16), pp. 68–76.
- [2] Gazizullin A.Kh., Mubarakzyanova G.A., Burganov F.G. *Osinniki Respubliki Tatarstan, ikh khozyaystvennoe znachenie, sovremennoe sostoyanie i problemy povysheniya ikh ekonomicheskogo i ekologicheskogo potentsiala* [Osinniki of the Republic of Tatarstan, their economic importance, current state and problems of increasing their economic and environmental potential]. *Lesa, lesnoy sektor i ekologiya Respubliki Tatarstan: sb. nauch. statey KGSKhA* [Forests, forest sector and ecology of the Republic of Tatarstan: coll. scientific articles of the KSAA]. Kazan: Shkola [School], 2005, iss. 1, pp. 169–177.

- [3] Petrova G.A., Kalashnikova E.A. *Primenenie metodov kletochnoy biotekhnologii dlya sokhraneniya bioraznobraziya osiny (Populus Tremula L.)* [Application of methods of cellular biotechnology for biodiversity conservation of aspen (*Populus Tremula L.*)]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Bulletin of the Kazan State Agrarian University], 2008, v. 3, no. 1 (7), pp. 147–150.
- [4] Aleksandrov O.S., Karlov G.I. *Razvitie Populus alba L. i Populus tremula L. Vidospetsifichnyye molekulyarnyye markery na osnove netranskribirovannogo speysernogo polimorfizma 5S rDNK* [Development of *Populus alba L.* and *Populus tremula L.* Species-specific molecular markers based on non-transcribed 5S rDNA spacer polymorphism]. Forests [Forests], 2019, no. 10 (12), p. 1092.
- [5] Bayburin R.K. *Introduktsiya drevesnykh rasteniy, vyrashchennykh v kul'ture in vitro* [Introduction of woody plants grown in culture in vitro]. Genetika i selektsiya na sluzhbe lesu: tez. dokl. mezhd. nauchno-prak. konf. [Genetics and breeding in the service of the forest: abstract. report int. scientific and practical. conf.]. Voronezh: VGLTA, 1996, pp. 11–13.
- [6] Yablokov A.S. *Vospitanie i razvedenie zdorovoy osiny* [Raising and breeding a healthy aspen]. Moscow: Goslesbumizdat, 1963, 440 p.
- [7] Baranchugov E.G. *Zadachi i problemy lesnoy selektsii v Respublike Tatarstan* [Tasks and problems of forest selection in the Republic of Tatarstan]. Lesa, lesnoy sektor i ekologiya Respubliki Tatarstan: sb. nauch. statey KGSKhA [Forests, forest sector and ecology of the Republic of Tatarstan: coll. scientific articles of the KSAA]. Kazan': Shkola [School], 2005, iss. 1, pp. 30–33.
- [8] Garipov N.R., Puryaev A.S. *Struktura osinnikov Zakam'ya Respubliki Tatarstan* [The structure of aspen forests in the Trans-Kama region of the Republic of Tatarstan]. Lesokhozyaystvennaya informatsiya [Forestry Information], 2017, no. 4, pp. 19–27. DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2017.4.02
- [9] Mashkina O.S., Shabanova E.A., Varivodina I.N. *Polevyye ispytaniya razmnozhenykh in vitro klonov osiny (Populus tremula L.): rost, produktivnost', kachestvo drevesiny, geneticheskaya stabil'nost'* [Field trials of in vitro propagated clones of aspen (*Populus tremula L.*): growth, productivity, wood quality, genetic stability]. Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal), 2019, no. 6, pp. 25–38.
- [10] Yablokov A.S. *Ispolinskaya forma osiny v lesakh SSSR* [Giant form of aspen in the forests of the USSR]. Trudy VNIILKh [Proceedings of VNIILKh]. Moscow: VNIILKh, 1941, 52 p.
- [11] Zhigunov A.V., Shabunin D.A., Butenko O.Yu. *Lesnye plantatsii triploidnoy osiny, sozdannyye posadochnym materialom in vitro* [Triploid aspen forest plantations created by planting material in vitro]. Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta [Bulletin of the Volga State Technological University. Ser.: Forest. Ecology. Nature management], 2014, no. 4 (24), pp. 21–30.
- [12] Tullus A., Rytter L., Tullus T. Short-Rotation Forestry with Hybrid Aspen (*Populus tremula L. × P. tremuloides Michx.*) in Northern Europe. Scandinavian Journal of Forest Research, 2012, v. 27, iss. 1, pp. 10–29.
- [13] Mukhametshina A.R., Petrova G.A., Shaykhraziev Sh.Sh., Gibadullin N.F., Rusakova E.S. *Effektivnost' primeniya stimulyatorov rosta pri vyrashchivaniy eli evropeyskoy (Picea abies L.) v zakrytom grunte* [Effectiveness of growth stimulants in European spruce cultivation under cover]. Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin, 2020, vol. 24, no. 3, pp. 81–86. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-3-81-86
- [14] Shabunin D.A., Bychenkoova E.A. *Osina razmnozhenaya metodom in vitro — perspektivnaya poroda dlya plantatsionnogo vyrashchivaniya na sel'skokhozyaystvennykh zemlyakh* [Aspen propagated by in vitro method — a promising breed for plantation cultivation on agricultural lands]. Problemy kompleksnogo ispol'zovaniya i melioratsii zemel' na vodosbore: materialy Mezhdunarodnogo simpoziuma [Problems of integrated use and land reclamation in the catchment area: materials of the International Symposium]. St. Petersburg: SPbNIILKh, 2002, pp. 30–32.
- [15] Shabunin D.A., Podol'skaya V.A. *Osina iz probirki* [Aspen from a test tube]. Lesnaya Rossiya [Forest Russia], 2005, no. 10, pp. 24–25.
- [16] Greer B.T., Still C., Cullinan G.L. Polyploidy Influences Plant-Environment Interactions in Quaking Aspen (*Populus tremuloides Michx.*). Tree Physiology, 2018, v. 38, iss. 4, pp. 630–640.
- [17] Lebedeva M.V., Levkoev E.A., Volkov V.A. *Opyt vosstanovleniya uteryannykh selektsionnykh dostizheniy Populus × leningradensis Bogd. i Populus × newensis Bogd. na osnove mikrosatelitnogo analiza* [Experience in restoring the lost breeding achievements of *Populus × leningradensis Bogd.* and *Populus × newensis Bogd.* based on microsatellite analysis]. Genetika, 2016, v. 52, no. 10, pp. 1159–1168.
- [18] Campbell M.M., Brunner A.M., Jones H.M. Forestry's fertile crescent: the application of biotechnology to forest trees. Plant Biotechnology J., 2003, v. 1, pp. 141–154.
- [19] Pozdnyakov I., Azarova A., Shestibratov K. Effect of the Volume of Production of Planting Material on the Basis of Clonal Micropropagation on the Cost Price of In vitro-Rooted Birch and Aspen Microplants. International J. of Environmental & Science Education, 2016, v. 11, no. 18, pp. 12031–12048.
- [20] Zhigunov A.V. *Primenenie biotekhnologiy v lesnom khozyaystve Rossii* [Application of biotechnologies in forestry in Russia]. Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal), 2013, no. 2, pp. 40–45.
- [21] Petrova G.A. *Poluchenie zdorovogo posadochnogo materiala osiny (Populus tremula L.) iz kallusnoy tkani s tsel'yu ozdorovleniya osinnikov Respubliki Tatarstan* [Obtaining healthy planting material of aspen (*Populus tremula L.*) from callus tissue in order to improve the health of aspen forests of the Republic of Tatarstan]. Uchenye zapiski Kazanskoy gosudarstvennoy akademii veterinarnoy meditsiny im. N.E. Bauman [Scientific notes of the Kazan State Academy of Veterinary Medicine. N.E. Bauman], 2011, v. 205, pp. 169–173.
- [22] Petrova G.A., Yatmanova N.M., Mukhametshina A.R. *Microclonal reproduction of common aspen (Populus tremula L.) genotypes in the Republic of Tatarstan* [Microclonal reproduction of common aspen (*Populus tremula L.*) genotypes in the Republic of Tatarstan]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science [IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Cheboksary], 16 April 2021, Cheboksary, 2021, p. 012003. DOI: 10.1088/1755-1315/935/1/012003
- [23] Ulrich K., Ewald D. Breeding Triploid Aspen and Poplar Clones for Biomass Production. Silvae Genetica, 2014, v. 63, iss. 1–6, pp. 47–58.

- [24] Bagaev S.N., Korenev I.A., Bagaev S.S. *Osobennosti formirovaniya bystrorastushchikh klonov v geneticheskom rezervate ispolinskoj osiny* [Features of the formation of fast-growing clones in the genetic reserve of the giant aspen]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry], 2013, no. 2, pp. 26–28.
- [25] Gazizullin A.Kh., Garipov N.R., Puryaev A.S. *Rezul'taty issledovaniya chetyrekhletnikh opytnykh kul'tur osiny, sozdannykh v Respublike Tatarstan metodami biotekhnologii* [The results of the study of four-year experimental cultures of aspen, created in the Republic of Tatarstan by methods of biotechnology]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Kazan State Agrarian University], 2011, v. 6, no. 3 (21), pp. 118–120.

Authors' information

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

Kalashnikova Elena Anatolyevna — Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Biotechnology, Institute of Agrobiotechnology, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education RGAU — Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, kalash0407@mail.ru.

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

Received 17.03.2022.

Approved after review 13.05.2022.

Accepted for publication 15.08.2022.

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

ИНТРОДУКЦИЯ, ОСОБЕННОСТИ РОСТА И РАЗВИТИЯ ЗИЗИФУСА (*ZIZIPHUS JUJUBA* MILL.) В УСЛОВИЯХ АСТРАХАНСКОГО ЗАВОЛЖЬЯ И ВОЛГО-АХТУБИНСКОЙ ПОЙМЫ

В.В. Лепеско¹, Л.П. Рыбашлыкова²✉

¹ФГБНУ «Богдинская научно-исследовательская агролесомелиоративная опытная станция», 416010, Астраханская обл., г. Харабали, ул. БОС, д. 1

²ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук», 400062, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 97

rybashlykova-l@vfanc.ru

Представлены результаты исследований, проводившихся в течение 20 лет, по акклиматизации и жизнеспособности зизифуса (*Ziziphus jujuba* Mill.) в засушливых условиях Астраханского Заволжья и Волго-Ахтубинской поймы. Показана возможность выращивания многоцелевого перспективного субтропического растения в данном аридном регионе. Установлено, что в первый год после посадки сохранность культуры без полива в полупустынных условиях в 4 раза меньше, нежели с поливом и составляет 25 %. Сильное обмерзание зизифуса не приводит растение к гибели. При хорошо развитой корневой системе полностью восстанавливается надземная часть и в тот же год репродуктивная способность. Выявлено, что по мере роста и акклиматизации плодоношение становится более обильным и составляет 10 кг с дерева.

Ключевые слова: зизифус настоящий, Астраханское Заволжье, Волго-Ахтубинская пойма, интродукция, засухоустойчивость, морозостойкость

Ссылка для цитирования: Лепеско В.В., Рыбашлыкова Л.П. Интродукция, особенности роста и развития зизифуса (*Ziziphus jujuba* Mill.) в условиях Астраханского Заволжья и Волго-Ахтубинской поймы // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 5. С. 23–30. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-5-23-30

Повышение биологического разнообразия возможно путем интродукции растений с оценкой их перспективности. Аридные территории с точки зрения экологии определяют как ареалы экстремальных факторов, многие из которых относятся к нерегулируемым. В таких условиях единственным способом поддержания продуктивности растений и сохранения агрофитоценозов может быть устойчивость самих растений.

Зизифус (*Ziziphus jujuba* Mill.) или унаби обыкновенная, рода зизифус семейства Крушиновые (Rhamnaceae). Всего насчитывается около 100 видов, распространенных в тропиках и субтропиках, как Северного, так и Южного полушария (Северный Китай, Япония, Индия, Пакистан, Афганистан, Восточный Иран, Сирия) [1]. Зизифус настоящий, или ююбу (*Z. jujuba*, а также унаби, чилон или китайский финик в качестве плодовой культуры выращивают с древности. Зизифус — это листопадный кустарник (высотой до 4 м) или дерево (высотой 8...10 м) с душистыми перекрестноопыляемыми цветами, цветет в мае — июне [2]. Плод массой до 30 г, длиной до 5 см светло-коричневого или красновато-коричневого цвета различной формы. Зизифус живет до 300 лет, рано, на 3–4 год, вступает в плодоношение и высокоурожаен — до 40...60 ц/га [3, 4].

Введение зизифуса в Астраханское Заволжье и Волго-Ахтубинскую пойму может обогатить флору и фауну Астраханской области. Плоды зизифуса в осенне-зимний период будут служить кормом для фазанов и других пернатых. Зизифус способен создавать заросли корневыми отпрысками, что привлекает млекопитающих (кабанов, лис и других животных).

В связи с наличием у зизифуса мелких и крупных шипов растение не стравливается домашними животными и является конкурентом лоху узколистному (*Elaeagnus angustifolia* L.), захватывающему пойму. Зизифус противостоит экспансии лоха [5].

Зизифус — морозостойкое растение, выдерживает понижение температуры воздуха до –25...30 °С, засухоустойчив и жаростоек [6–8]. Его насаждения в Западном Прикаспии наиболее продуктивны и жизнеспособны на землях, где почвогрунты сложены песками и супесями, а грунтовые воды имеют минерализацию менее 5 г/л и залегают на глубине не более 5...6 м [9]. Зизифус не требователен к плодородию почвы и не переносит близкого залегания грунтовых вод.

Зизифус размножают черенкованием и прививкой [10]. Наиболее надежный способ размножения его мелкоплодной формы — семенами, а при выращивании сортового посадочного материала лучших форм культуры эффективен способ размножения корневыми черенками [11].

В аридных областях Индии один из видов зизифуса — (*Ziziphus nummularia* (Burm. f.) Wight & Arn.), содержащий 14 % протеина в листьях и 7 % в плодах, является важнейшим кормовым пастбищным растением [12].

Зизифус содержит углеводы (20...40 % в свежем и более 60 % в сушеном состоянии), белок, жир, большое количество витаминов С и В, каротин, кальций, фосфор, железо. Зизифус повышает иммунитет, улучшает метаболизм белых кровяных телец и понижает уровень холестерина в крови, применяется для лечения усталости, диареи, бессонницы, анемии, лейкопении и тромбопении [13–19]. Целебны также цветы, листья и побеги растения [20].

Опыт использования зизифуса в других странах (Китай, Индия, Турция, Иран, США) свидетельствует о его широком применении в плантационных, кулисных и саванных мелиоративно-кормовых насаждениях на деградированных землях [21–24].

Цель работы

Цель работы — эколого-биологический анализ интродукции субтропической культуры зизифуса в аридных условиях Астраханского Заволжья и Волго-Ахтубинской поймы для обогащения видового разнообразия региона.

Методика исследования

В полупустыне Астраханского Заволжья испытание зизифуса проводилось на бурых супесчаных незасоленных почвах, имеющих суглинистые опресненные слои на глубине 70...250 см (участок «Черненький» с координатами 47°30' 36.11" с. ш. и 47°11' 48.23" в. д.).

Под опытными посадками зизифуса в пойменной части г. Харабали почва луговая слоистая среднетощая легкосуглинистая незасоленная (повышенный и выровненный участок) — уровень грунтовых вод 4...6 м, грунтовые воды слабоминерализованы.

Двулетние саженцы древесного растения зизифуса были завезены из Ставропольского края (с. Ачикулак) в 1997 г. В апреле того же года в полупустыне (участок «Черненький») была выполнена посадка саванно-куртинных редкостойных насаждений зизифуса на площади 0,3 га (схема размещения культур 10×10 м с площадью питания 100 м²).

Дополнительное увлажнение водой почвогрунта под растениями в лунках за вегетационный период составляло 90 л: апрель — 30 л, июль — 30 л и сентябрь — 30 л на одно растение. Первый год полив культур в пойме проводился также, как в условиях полупустыни — 3 раза за сезон при той же норме. Для растений с 2-летнего до 7-летнего возраста осуществлялся один полив

в июле с нормой 50 л воды на куст. По достижении растениями 7-летнего возраста проводили один полив в июле — августе с нормой 50 л воды на одно растение.

Часть культур была высажена без полива. С 2015 по 2021 гг. растения не поливали. В 2008 г. акклиматизированные 2-летние корневые отпрыски зизифуса использовались для озеленения центральной усадьбы Богдинской научно-исследовательской агролесомелиоративной опытной станции. В этот период были заложены опыты по густоте стояния культур в ряду через 1 и 1,5 м (по 50 шт.), местоположение — повышенная часть Волго-Ахтубинской поймы (обвалованный участок). Посадку культур проводили в подготовленные ямы ранней весной. В течение вегетационного периода по мере необходимости проводились уходы за почвой.

Наблюдения за приживаемостью, сохранностью, динамикой роста и развития насаждений вели с помощью общепринятых методик, разработанных А.П. Анучиным [25], Т.Т. Битвинским [26], Н.А. Прозоровым, фенологические наблюдения по методике Н.Т. Нечаевой [27]. Были зафиксированы фенологические фазы развития, характеризующие степень адаптации к абиотическим факторам: начало распускания почек (цветковых и вегетативных), время появления цветков, цветение, интенсивность цветения и процент образования завязей, созревание плодов (начало, конец, продолжительность), листопад, конец вегетации. Оценка зимостойкости, засухоустойчивости, жизнестойкости проводилась по Единой системе учетов интродуцентов с помощью методик, разработанных М.М. Тюриной, Г.А. Глаголевой, В.Г. Леонченко, Р.А. Евсеевой [28]. Изучая особенности цветения и плодоношения, определяли возраст вступления в генеративную фазу, количество растений, цветущих и дающих полноценные плоды. Учитывали количество бутонов и плодов на единицу побега, завязываемость.

Результаты исследования

В отдельные годы по тепло- и влагообеспеченности наблюдались большие отклонения от средних многолетних значений. В 1999 и 2020 гг. за вегетационный период выпало низкое количество осадков — 128...125 мм при многолетней норме 227 мм. Во время весеннего паводка территория Волго-Ахтубинской поймы, кроме высоких грив и обвалованных участков, затапливается паводковыми водами. Глубина залегания грунтовых вод зависит от геоморфологических и гидрологических условий, а также от условий оттока и изменяется в пределах 2,5...5,0 м в равнинной центральной части поймы, а в межгривных понижениях — 0,5...2,0 м.

В 2020–2021 гг. средняя температура воздуха была выше относительно многолетней на 2,5...3,4 °С и составила 11,0...11,9 °С. В последние годы наблюдается потепление климата.

В условиях полупустыни на участке «Черненький» в первый год после посадки развитие культивируемого субтропического растения оценено как удовлетворительное, за исключением участка, не подвергавшегося поливу (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Приживаемость и рост зизифуса в аридных условиях Астраханского Заволжья в первый год после посадки (участок «Черненький», 1997 г.)

Survival ability and growth of jujube in arid conditions of the Astrakhan Volga region in the first year after planting (plot «Chernenky», 1997)

Варианты опыта	Приживаемость*, %	Прирост**, см	Сохранность**, %
С поливом	100	30	100
Без полива	50	13	25

Примечание. *Май; **сентябрь.

Сохранность культуры без полива в полупустынных условиях в 4 раза меньше, нежели с поливом, и составляет 25 %, прирост растения также значительно ниже — 13 см. К началу вегетации следующего года (1998) на участке без полива зизифус частично погиб от воздействия низкой температуры зимой и недостатка влаги в почве. В 1998–1999 гг. не все деревья подверглись полному обмерзанию. Так, 20...25 % растений зизифуса обмерзло наполовину, 75 % потеряли всю надземную часть, а весной дали побеги из корневой шейки и нижней части стволиков (на высоте 4...13 см от уровня почвы). Вегетация началась в начале мая; высота растений в среднем составляла 55...78 см (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Сохранность и рост зизифуса на участке с поливом в Астраханском Заволжье (участок «Черненький», сентябрь 1998–2000 гг.)

Preservation and growth of jujube with watering in the Astrakhan Volga region (plot «Chernenky», September 1998–2000)

Год	Высота, см	Сохранность, %
1998	55 ± 1,4	100
1999	78 ± 1,8	
2000	78 ± 1,8	

В 2000 г. не обмерзло 17 % растений. Зизифус дал на деревьях по 10...15 плодов. Этому способствовала мягкая зима 1999–2000 гг. Высота культур была больше 1 м. За зимний период

2000–2001 гг. у зизифуса подмерзли на 25...30 % лишь однолетние побеги и к осени 2001 г. диаметр кроны составлял 1,0...1,2 м, диаметр ствола 3,0...3,5 см, средняя высота деревьев составила 2 м. Это создало благоприятные условия для плодоношения — до 50 шт. плодов на культуре.

В 2003 г. вследствие холодной весны начало вегетации пришлось на 10 мая, по сравнению с 2002 г. позднее на 5 дней. Подмерзание однолетних побегов составило около 30 %, т. е. 2 балла. Начало цветения пришлось на 4 июля, цветение хорошее — 4 балла. Плодообразование началось 26 июля, а его конец отмечен 30 августа, оценено как хорошее — 4 балла. В семилетнем возрасте зизифус достиг 210 см, нормально развивался, имел здоровый вид и нормальную окраску.

Деревца зизифуса хорошо перенесли сезон зимы 2002–2003 гг. Начало зимы в декабре 2002 г. было очень холодное. Температура опускалась ниже –25 °С, господствовало северо-восточное направление ветра. Зима установилась с 1 декабря. До этого стояли дни с плюсовыми температурами. Несмотря на такие резкие перепады температуры зизифус перезимовал очень хорошо. Возможно, растения акклиматизировались к данным почвенно-климатическим условиям.

По мере роста и акклиматизации плодоношение становилось более обильным и в 2004 г. составило 10,2 кг плодов с одного дерева, в 2005 г. — 10,5 кг (табл. 3).

Начало вегетации в 2005 г. пришлось на период 5–10 мая, начало цветения — на начало июня, начало плодоношения — на третью декаду июня, конец плодоношения — на конец августа.

В зимний период 2005–2006 гг. в связи с морозами до –30 °С верхняя часть растений погибла. После ее спиливания весной 2006 г. началось интенсивное побегообразование. Таким образом, даже сильное обмерзание зизифуса не привело растение к гибели. При хорошо развитой корневой системе надземная часть полностью восстанавливается. В тот же год растения восстановили и свою репродуктивную способность. Плоды созреть не успели, так как период отрастания побегов сместил во времени все фазы развития растения. Высота зизифуса в августе 2006 г. достигла 1,6...1,7 м, растения приобрели кустовую форму и начали развиваться корневые отпрыски. В 2007 г. высота в среднем составляла уже 2,7 м, в 2009 г. — 3,0...3,1 м, наблюдалось хорошее плодоношение. В 2010 г. в связи с аномальной жарой в полупустыне и сильной засухой завязь зизифуса отпала, прирост составил 5...7 см.

Мониторинг роста и развития зизифуса в Астраханском Заволжье в течение 13 лет показал, что, несмотря на аномальные морозы до –30 °С и жару до 40 °С с иссушающими юго-восточными

Рост и развитие зизифуса в условиях полупустыни Астраханского Заволжья (участок «Черненький», сентябрь 2001–2005 гг.)

Growth and development of jujube in the semi-desert conditions of the Astrakhan Volga region (plot «Chernenky», September 2001–2005)

Год	Средняя высота, см	Сохранность, %	Урожайность плодов		Сухая масса стеблей и листьев, ц/га
			кг/растение	ц/га	
2001	200 ± 10,4	100	0,4	–	–
2002	220 ± 5,0		2,8	2,8	0,7
2003	230 ± 2,7		6,5	6,5	1,1
2004	250 ± 2,5		10,2	10,2	1,5
2005	300 ± 5,4		10,5	10,5	1,8

Примечание. Урожай плодов, массы стеблей и листьев (ц/га) — из расчета 100 деревьев.



Рис. 1. Рост и развитие зизифуса в 13-летнем возрасте в аридных условиях Астраханского Заволжья (участок «Черненький», сентябрь 2009 г.)

Fig. 1. Growth and development of zizifus at the age of 13 in arid conditions of the Astrakhan Volga region (plot «Chernenky», September 2009)



Рис. 2. 2-летние корневые отпрыски зизифуса в условиях Астраханской полупустыни высотой 30...40 см (участок «Черненький», сентябрь 2009 г.)

Fig. 2. Two-year jujube root offsprings in the conditions of the Astrakhan semi-desert, 30...40 cm high (Chernenky plot, September 2009)



Рис. 3. Зизифус на третьем году роста, посаженный 2-летними корневыми отпрысками в условиях поймы (Центральная усадьба ФГБНУ «Богдинская научно-исследовательская агролесомелиоративная опытная станция», сентябрь 2010 г.)

Fig. 3. Three-year old jujube, planted as a 2-year-old root offspring in floodplain conditions (Central estate of the Federal State Budgetary Institution «Bogdinskaya Research Agroforest Meliorative Experimental Station», September 2010)

ветрами, субтропическая культура успешно прошла климатическое испытание и полностью акклиматизировалась в данных аридных условиях (рис. 1–3). Благоприятные почвенно-физические свойства опытного участка, естественное микропонижение и минимальный полив в первый год вегетации способствовали удовлетворительному росту и приживаемости субтропической культуры в полупустыне при глубине залегания грунтовых вод более 10 м. Суглинистые прослойки, обладающие значительной влагоудерживающей способностью, задерживают влагу, а вышележащий слой супеси и песка предохраняет накопленную влагу от физического испарения.

Проводимые исследования и наблюдения за ростом субтропической культуры на пойменных землях Астраханской области тоже дали удовлетворительные результаты.

В 2010 г. 2-летние корневые отпрыски зизифуса достигли высоты 1,5...2,0 м, хорошо плодоносили

Т а б л и ц а 4

**Рост и плодоношение зизифуса в Волго-Ахтубинской пойме
в зависимости от густоты стояния культур — 1,0 м и 1,5 м**
Growth and fruiting of jujube in the Volga-Akhtuba floodplain, depending
on the density of crops 1,0 m and 1,5 m

Параметр	2010		2012		2015	
	1,0 м	1,5 м	1,0 м	1,5 м	1,0 м	1,5 м
Высота, см	150 ± 1,5	200 ± 2,0	230 ± 2,3	300 ± 5,8	340 ± 5,0	390 ± 6,4
Диаметр корневой шейки, см	2,1 ± 0,3	2,4 ± 0,5	3,5 ± 0,6	3,8 ± 0,8	5,0 ± 0,4	5,6 ± 1,0
Урожай плодов на одно растение, кг	6,0	6,7	6,5	7,7	10,1	12,9

Примечание. Годовой прирост составлял 40...60 см; сохранность — 100 %.

Т а б л и ц а 5

**Характеристика, рост и плодоношение зизифуса на пойменных землях после обрезки
в 8-летнем возрасте при густоте стояния 1,0 и 1,5 м. (Волго-Ахтубинская пойма, 2017–2021 гг.)**
Characteristics, growth and fruiting of jujube on floodplain lands after pruning
at the age of 8 with a density of crops 1,0 and 1,5 m (Volga-Akhtuba floodplain, 2017–2021)

Параметр	2017		2019		2021	
	1,0 м	1,5 м	1,0 м	1,5 м	1,0 м	1,5 м
Количество здоровых кустов, шт.	50	50	50	50	45	45
Средний диаметр кроны, м	0,5	0,6	1,1	1,3	1,5	1,9
Средняя высота порослевин, м	1,2	1,7	1,8	2,5	2,4	3,5
Диаметр корневой шейки, см	5,4	6,2	6,0	7,5	6,7	9,0
Количество порослевин, шт.	7–8	9	5–4	5–6	3–4	4–5
Урожай плодов						
на одно растение, кг	3,9	5,0	7,0	9,1	12	17
на сохранившиеся растения, ц	2,0	2,5	3,5	4,6	5,4	7,7

и удовлетворительно развивались — несмотря на резко континентальный климат Северного Прикаспия (табл. 4). Посадка зизифуса с помощью корневых отпрысков сохраняет древовидную форму и его свойства.

При размещении зизифуса в ряду через 1,5 м растение развивалось более интенсивно. Для придания субтропическому растению кустовой формы и в целях увеличения плодовой массы в 2016 г. растения обрезали на высоте 0,5 м. В сентябре 2016 г. прирост зизифуса в среднем составил 50...80 см, плоды появились позднее и не созрели. Дальнейший рост субтропического растения после обрезки приведен в табл. 5.

Выводы

Интродукция субтропических древесных пород в Российский Прикаспий необходима для обогащения традиционной лесокультурной флоры теплолюбивыми культурами, способными формировать многофункциональные насаждения высокой жизнеспособности в условиях начавшегося здесь потепления климата. Они внесут позитивный вклад в агроэкологию региона, увеличат

продуктивность и рекреационную ценность ландшафтов, обеспечат разнообразие растительного рациона экзотической продукцией, обладающей не только питательными, но и целебными свойствами.

Анализ многолетних результатов исследований интродукции зизифуса в аридные условия Астраханского Заволжья и Волго-Ахтубинской поймы позволяет утверждать, что многоцелевая субтропическая культура *Ziziphus jujuba* Mill. успешно акклиматизировалась.

Посадки зизифуса в регионе укрепят устойчивость ландшафтов, создадут разнообразие растительного покрова. Кроме того, зизифус можно использовать для газонов и живых изгородей, а также производить из его плодов ценную пищевую и лечебную продукцию.

Работа выполнена по теме «Теоретические основы, базовые принципы и технологии повышения эффективности защитного лесоразведения и комплексной фитомелиорации на деградированных, нарушенных и низкопродуктивных землях засушливой зоны России» номер регистрации 122020100309-0

Список литературы

- [1] Большая российская энциклопедия. В 30 т. Т. 10. М.: Большая российская энциклопедия, 2008. 767 с.
- [2] Алиев Х.А Оценка агроклиматических ресурсов Южного Дагестана для субтропического плодоводства // Вестник РАСХН, 2009. № 3. С. 64–65.
- [3] Интродукция унаби и создание его многоцелевых насаждений в Западном Прикаспии (практическое руководство). Волгоград: Изд-во ВНИАЛМИ, 1996. 13 с.
- [4] Крючков С.Н., Матгис Г.Я. Лесоразведение в засушливых условиях. Волгоград: Изд-во ВНИАЛМИ, 2014. 301 с.
- [5] Лепеско В.В., Вдовенко А.В. Ассортимент древесно-кустарниковой растительности для лесомелиоративных работ в Заволжье Астраханской области // Вестник научных конференций, 2016. № 4–5(8). С. 123–124.
- [6] Малышева С.К. Ростизимостойкость восточноазиатских растений в условиях интродукционного питомника // Междунар. журн. прикладных и фундаментальных исследований, 2018. № 11–2. С. 329–332.
- [7] Карандина С.Н., Эрперт С.Д. Климатическое испытание древесных пород в Прикаспийской полупустыне. М.: Наука, 1972. 128 с.
- [8] Любимов В.Б. Интродукция растений (теория и практика) (монография) // Междунар. журн. экспериментального образования, 2015. № 8–2. С. 188–188.
- [9] Петров В.И. Рекомендации по обогащению лесопастбищ растениями многоцелевого назначения. Волгоград: Изд-во РАСХН, 2002. 73 с.
- [10] Сурхаев Г.А. Интродукция субтропических культур в Северо-Западном Прикаспии // Повышение продуктивности и охрана аридных ландшафтов, 1999. С. 190–191.
- [11] Сурхаев Г.А., Сурхаева Г.М., Вдовенко А.В. Перспективные интродуцированные виды на песчаных землях Терско-Кумского междуречья // Агроресурсомелиорация в системе адаптивно-ландшафтного земледелия: поиск новой модели (к 90-летию академика РАСХН Е.С. Павловского). Волгоград: Изд-во ВНИАЛМИ, 2013. С. 240–243.
- [12] Bhattarai K.R., Pathak M.L. A new species of ziziphus (rhmannaceae) from Nepal himalayyas // Indian J. of Plant Sciences, 2015, vol. 4 (2), pp. 71–77.
- [13] Ганиева Н.А., Бирюкова Н.В. Фармакогностическое изучения сырья *Ziziphus jujuba* Mill. // Тенденции развития науки и образования, 2021. № 74–1. С. 29–32.
- [14] Кароматов И.Д., Тогбоев К.Т. Унаби перспективное и лечебнопрофилактическое средство // Биология и интегративная медицина, 2017. № 6. С. 165–177.
- [15] Карнатовская М.Ю. Зизифус (*Ziziphus jujuba* Mill.) — ценная лекарственная, плодовая и декоративная культура // Агроэкологичный журнал, 2016. № 2. С. 69–73.
- [16] Карнатовская М.Ю., Григорьева О.В., Бриндза Я., Свиридовский В.Н. *Ziziphus jujuba* Mill. — новая перспективная культура // Садоводство и ягодоводство России, 2016. Т. 46. С. 121–126.
- [17] Пономаренко Л.В. Унаби — перспективная южная плодовая культура // Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования, 2016. № 12. С. 51–55.
- [18] Барнаулов О.Д. Краткий обзор лекарственных свойств унаби *Ziziphus jujuba* // Традиционная медицина, 2016. № 2(45). С. 50–61.
- [19] Барнаулов О.Д. Китайский финик — элитное лекарственное растение древнейших традиционных медицин стран Азии // Обзоры по клинической фармакологии и лекарственной терапии, 2018. № Т. 16. № 1. С. 71–78. DOI: 10.17816/RCF16171-78)
- [20] Rojas-Sandoval J. *Ziziphus spina-christi* (Christ's thorn jujube). Invasive Species Compendium. Wallingford, UK: CABI, 2017. DOI:10.1079/ISC.57569.20203483212
- [21] Almalki R. A., Alzahrani D. A., Morphological investigation of genus *Ziziphus* Mill. (Rhamnaceae) in Saudi Arabia // American J. of Plant Sciences, 2018, 9(13), pp. 2644–2658. DOI: 10.4236/ajps.2018.913192
- [22] Baghazadeh-Daryaii L., Sharifi-Sirchi G.R., Samsampoor D. Morphological, phytochemical and genetic diversity of *Ziziphus spina-christi* (L.) Des. in South and Southeastern of Iran // J. of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants, 2017, v.7, pp. 99–107. DOI: 10.1016/j.jarmap.2017.06.006
- [23] Sudhersan C., Jibi S., Ashkanani J. *Ziziphus*: a highly potential multipurpose woody perennial for desert environmental rehabilitation // Acta Horticulturae, 2016, no. 1116, pp. 9–13. DOI: 10.17660/ActaHortic.2016.1116.2
- [24] Chovatia R.S., Patel D.S., Patel G.V. Performance of ber (*Ziziphus mauritiana* Lamk) cultivars under arid conditions. // Ann. Arid Zone, 1993, v. 32, pp. 215–217.
- [25] Анучин Н.П. Лесная таксация. М.: Лесная промышленность, 1971. 512 с.
- [26] Битвинская Т.Т. Дендроклиматические исследования. Л.: Гидрометеониздат, 1974. 172 с.
- [27] Нечаева Н.Т. Продуктивность растительности центральных Каракумов в связи с различным режимом использования. М.: Наука, 1979. 255 с.
- [28] Тюрина М.М. Определение устойчивости плодовых и ягодных культур к стрессорам холодного времени года в полевых и контролируемых условиях: метод. указания. М.: ВСТИСП, 2002. 119 с.

Сведения об авторах

Лепеско Владимир Васильевич — канд. с.-х. наук, вед. науч. сотр. ФГБНУ «Богдинская научно-исследовательская агролесомелиоративная опытная станция»

Рыбашлыкова Людмила Петровна [✉] — канд. с.-х. наук, вед. науч. сотр., ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук», rybashlykova-l@vfanc.ru

Поступила в редакцию 15.03.2022.

Одобрено после рецензирования 26.05.2022.

Принята к публикации 15.07.2022.

INTRODUCTION, GROWTH AND DEVELOPMENT FEATURES OF JUJUBE TREE (*ZIZIPHUS JUJUBA* MILL.) IN ASTRAKHAN VOLGA REGION AND VOLGA-AKHTUBA FLOODPLAIN

V.V. Lepesko¹, L.P. Rybashlykova²✉

¹Bogdanskaya scientific-research agroforest amelioration experimental station, 1, BOS st., 416010, Kharabali, Astrakhansk reg., Russia

²Federal scientific centre of agroecology, complex meliorations and protective afforestation of Russian Academy of Sciences, 97, Universitetsky av., 400062, Volgograd, Russia

rybashlykova-l@vfanc.ru

The study results conducted over 20 years on the acclimatization and viability of jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) in the arid conditions of the Astrakhan Trans-Volga region and the Volga-Akhtuba floodplain are presented. The possibility of growing a multipurpose promising subtropical plant in this arid region is shown. It has been established that in the first year after planting, the survival of a crop without irrigation in semi-desert conditions is 4 times lower than with irrigation which makes up 25 %. Strong frosting of jujube does not cause the plant death. With a well-developed root system, the aerial part is completely restored and the reproductive capacity is restored in the same year. It was revealed that with growth and acclimatization, fruiting becomes more abundant and amounts to 10 kg per tree.

Keywords: jujube tree, Astrakhan Zavolzhye, Volga-Akhtuba floodplain, introduction, medicinal and forage properties, thermophilic culture, drought resistance, frost resistance

Suggested citation: Lepesko V.V., Rybashlykova L.P. *Introduktsiya, osobennosti rosta i razvitiya zizifusa (Ziziphus jujuba Mill.) v usloviyakh Astrakhanskogo Zavolzh'ya i Volgo-Akhtubinskoy poymy* [Introduction, growth and development features of Jujube tree (*Ziziphus jujuba* Mill.) in Astrakhan Volga Region and Volga-Akhtuba floodplain]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 5, pp. 23–30. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-5-23-30

References

- [1] *Bol'shaya russiyanskaya entsiklopediya. V 30 t., T. 10.* [The Great Russian Encyclopedia. In 30 t., t. 10]. Moscow: Bol'shaya Rossiyskaya entsiklopediya, 2008, 767 p.
- [2] Aliev Kh.A. *Otsenka agroklimaticheskikh resursov Yuzhnogo Dagestana dlya subtropicheskogo plodovodstva* [Assessment of agro-climatic resources of Southern Dagestan for subtropical fruit growing]. *Vestnik RASKHN [Vestnik RASKHN]*, 2009, no. 3, pp. 64–65.
- [3] *Introduktsiya unabi i sozдание ego mnogotsel'nykh nasazhdeniy v Zapadnom Prikaspii (prakticheskoe rukovodstvo)* [Introduction of unabi and creation of its multipurpose plantings in the Western Caspian Sea (practical guide)]. Volgograd: VNIALMI, 1996, 13 p.
- [4] Kryuchkov S.N., Mattis G.Ya. *Lesorazvedenie v zasushlivykh usloviyakh* [Afforestation in arid conditions]. Volgograd: VNIALMI, 2014, 301 p.
- [5] Lepesko V.V., Vdovenko A.V. *Assortiment drevesno-kustarnikovoy rastitel'nosti dlya lesomeliorativnykh rabot v Zavolzh'e Astrakhanskoy oblasti* [Assortment of tree and shrub vegetation for forest reclamation works in the Volga region of the Astrakhan region]. *Vestnik nauchnykh konferentsiy [Bulletin of Scientific Conferences]*, 2016, no. 4–5(8), pp. 123–124.
- [6] Malysheva S.K. *Rost i zimostoykost' vostochnoaziatskikh rasteniy v usloviyakh introduktsionnogo pitomnika* [Growth and winter hardiness of East Asian plants in the conditions of an introduction nursery]. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy [International J. of Applied and Fundamental Research]*, 2018, no. 11–2, pp. 329–332.
- [7] Karandina S.N., Erpert S.D. *Klimaticheskoe ispytanie drevesnykh porod v Prikaspiyskoy polupustyne* [Climatic testing of tree species in the Caspian semi-desert]. Moscow: Nauka [Science], 1972, 128 p.
- [8] Lyubimov V.B. *Introduktsiya rasteniy (teoriya i praktika)* [Introduction of plants (theory and practice)]. *Mezhdunarodnyy zhurnal eksperimental'nogo obrazovaniya [International J. of Experimental Education]*, 2015, no. 8–2, pp. 188–188.
- [9] Petrov V.I. *Rekomendatsii po obogashcheniyu lesopastbishch rasteniyami mnogotsel'evogo naznacheniya* [Recommendations on the enrichment of pastures with multi-purpose plants]. Volgograd: RASKHN, 2002. 73 p.
- [10] Surkhaev G.A. *Introduktsiya subtropicheskikh kul'tur v Severo-Zapadnom Prikaspii* [Introduction of subtropical crops in the North-Western Caspian region]. *Povyshenie produktivnosti i okhrana aridnykh landshaftov [Increasing productivity and protection of arid landscapes]*, 1999, pp. 190–191.
- [11] Surkhaev G.A., Surkhaeva G.M., Vdovenko A.V. *Perspektivnye introdutsirovannyye vidy na peschanykh zemlyakh Tersko-Kumskogo mezhdurech'ya* [Promising introduced species on sandy lands of the Tersko-Kuma interfluvium]. *Agrolesomelioratsiya v sisteme adaptivno-landshaftnogo zemledeliya: poisk novoy modeli (k 90-letiyu akademika RASKhN E.S. Pavlovskogo)* [Agroforestry in the system of adaptive landscape farming: search for a new model (to the 90th anniversary of Academician RASKHN E.S. Pavlovsky)]. Volgograd: VNIALMI, 2013, pp. 240–243.
- [12] Bhattarai K.R., Pathak M.L. A new species of *Ziziphus* (Rhamnaceae) from Nepal himalayas. *Indian J. of Plant Sciences*, 2015, v. 4 (2), pp. 71–77.
- [13] Ganieva N.A., Biryukova N.V. *Farmakognosticheskoe izucheniya syr'ya Ziziphus jujuba Mill.* [Pharmacognostic studies of raw materials *Ziziphus jujuba* Mill.]. *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya [Trends in the development of science and education]*, 2021, no. 74–1, pp. 29–32.
- [14] Karomatov I.D., Togboev K.T. *Unabi perspektivnoe i lechbnoprofilakticheskoe sredstvo* [Unabi promising and therapeutic agent]. *Biologiya i integrativnaya meditsina [Biology and integrative medicine]*, 2017, no. 6, pp. 165–177.

- [15] Karnatovskaya M.Yu. *Zizifus (Ziziphus jujuba Mill.) — tsennaya lekarstvennaya, plodovaya i dekorativnaya kul'tura* [Ziziphus (Ziziphus jujuba Mill.) — valuable medicinal, fruit and ornamental culture]. *Agroekologichniy zhurnal* [Agroecological journal], 2016, no. 2, pp. 69–73.
- [16] Karnatovskaya M.Yu., Grigor'eva O.V., Brindza Ya., Sviridovskiy V.N. *Ziziphus jujuba Mill. — novaya perspektivnaya kul'tura* [Ziziphus jujuba Mill. — a new perspective culture]. *Sadovodstvo i yagodovodstvo Rossii* [Horticulture and berry growing of Russia], 2016, v. 46, pp. 121–126.
- [17] Ponomarenko L.V. *Unabi — perspektivnaya yuzhnaya plodovaya kul'tura* [Unabi — promising southern fruit culture]. *Novye i netraditsionnye rasteniya i perspektivy ikh ispol'zovaniya* [New and non-traditional plants and prospects for their use], 2016, no. 12, pp. 51–55.
- [18] Barnaulov O.D. *Kratkiy obzor lekarstvennykh svoystv unabi Ziziphus jujuba* [Brief review of medicinal properties in the Process jujuba jujube]. *Traditsionnaya meditsina* [Traditional medicine], 2016, no. 2(45), pp. 50–61.
- [19] Barnaulov O.D. *Kitayskiy finik — elitnoe lekarstvennoe rastenie drevneyshikh traditsionnykh meditsin stran Azii* [Chinese date is an elite medicinal plant of ancient traditional medicines of Asia]. *Obzory po klinicheskoy farmakologii i lekarstvennoy terapii* [Reviews on clinical pharmacology and drug therapy], 2018, v. 16, no. 1, pp. 71–78. DOI: 10.17816/RCF16171-78)
- [20] Rojas-Sandoval J. *Ziziphus spina-christi* (Christ's thorn jujube). *Invasive Species Compendium*. Wallingford, UK: CABI, 2017. DOI:10.1079/ISC.57569.20203483212
- [21] Almalki R. A., Alzahrani D. A., Morphological investigation of genus *Ziziphus* Mill. (Rhamnaceae) in Saudi Arabia. *American J. of Plant Sciences*, 2018, 9(13), pp. 2644–2658. DOI: 10.4236/ajps.2018.913192
- [22] Baghazadeh-Daryai L., Sharifi-Sirchi G.R., Samsampoor D. Morphological, phytochemical and genetic diversity of *Ziziphus spina-christi* (L.) Des. in South and Southeastern of Iran // *J. of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 2017, v.7, pp. 99–107. DOI: 10.1016/j.jarmap.2017.06.006
- [23] Sudharsan C., Jibi S., Ashkanani J. *Ziziphus*: a highly potential multipurpose woody perennial for desert environmental rehabilitation // *Acta Horticulturae*, 2016, no. 1116, pp. 9–13. DOI: 10.17660/ActaHortic.2016.1116.2
- [24] Chovatia R.S., Patel D.S., Patel G.V. Performance of ber (*Ziziphus mauritiana* Lamk) cultivars under arid conditions // *Ann. Arid Zone*, 1993, v. 32, pp. 215–217.
- [25] Anuchin N.P. *Lesnaya taksatsiya* [Forest taxation]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forest industry], 1971, 512 p.
- [26] Bitvinskas T.T. *Dendroklimaticheskie issledovaniya* [Dendroclimatic studies]. Leningrad: Hydrometeoizdat, 1974, 172 p.
- [27] Nechaeva N.T. *Produktivnost' rastitel'nosti tsentral'nykh Karakumov v svyazi s razlichnym rezhimom ispol'zovaniya* [Productivity of vegetation of the central Karakums in connection with the different mode of use]. Moscow: Nauka [Science], 1979, 255 p.
- [28] Tyurina M.M. *Opreделение ustoychivosti plodovykh i yagodnykh kul'tur k stressoram kholodnogo vremeni goda v polevykh i kontroliruemyykh usloviyakh* [Determination of the resistance of fruit and berry crops to cold season stressors in field and controlled conditions]: method. instructions. Moscow: VSTISP, 2002, 119 p.

The work was carried out on the topic of State task «Theoretical foundations, basic principles and technologies for improving the effectiveness of protective afforestation and integrated land reclamation on degraded, disturbed and low-productive lands of the arid zone of Russia» No. 122020100309-0

Authors' information

Lepesko Vladimir Vasil'evich — Cand. Sci. (Agriculture), Leading Research Scientist of the Bogdanskaya scientific-research agroforest amelioration experimental station

Rybashlykova Lyudmila Petrovna ✉ — Cand. Sci. (Agriculture), Leading Research Scientist of the Federal scientific centre of agroecology, complex meliorations and protective afforestation of Russian Academy of Sciences, rybashlykova-l@vifanc.ru

Received 15.03.2022.

Approved after review 26.05.2022.

Accepted for publication 15.07.2022.

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

ДЕНДРОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РОСТА ЕЛИ ШРЕНКА В БОТАНИЧЕСКОМ САДУ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА ПО ДАННЫМ АНАЛИЗА ГОДИЧНЫХ КОЛЕЦ

А.А. Епишков¹, Д. Е. Румянцев^{1✉}, Г.А. Бойко²

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

²МГУ имени М.В. Ломоносова, Ботанический сад Биологического факультета, 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 12

dendro15@list.ru

Впервые на материале ели Шренка (*Picea schrenkiana* F. et M.) из Ботанического сада МГУ были получены временные ряды радиального прироста и на их основе получены датированные хронологии данного вида ели. Апробирована ранее разработанная специфическая методика перекрестной датировки древесно-кольцевых хронологий, пригодная для получения дендрохронологической информации для видов, произрастающих на крайних пределах интродукции. Выявлены выпавшие годичные кольца у ряда деревьев в 2007–2010 гг. Основное неблагоприятное воздействие на рост ели Шренка имело место в 2007 г., после чего у каждого дерева выпало разное число годичных колец (в зависимости от силы повреждения). Методом климаграмм установлено, что основное неблагоприятное воздействие в 2007 г. оказали повышенные температуры воздуха в январе, морозы февраля и последовавшая за этим засуха в начале вегетационного периода.

Ключевые слова: перекрестная датировка, интродуценты, выпавшие годичные кольца, древесно-кольцевая хронология

Ссылка для цитирования: Епишков А.А., Румянцев Д.Е., Бойко Г.А. Дендроэкологическое исследование роста ели Шренка в Ботаническом саду МГУ имени М.В. Ломоносова по данным анализа годичных колец // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 5. С. 31–39. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-5-31-39

Дендрохронология — наука, изучающая изменчивость годичных колец вторичной ксилемы древесных растений во временном аспекте. Исследования изменчивости годичных колец имеют многовековую историю. В начале XX в. преимущественно в работах американского ученого Эндрю Дугласа были сформулированы методологические основы данного научного направления [1]. Одним из главных открытий Дугласа был метод перекрестной датировки. В неблагоприятных условиях произрастания перекрестная датировка временных рядов радиального прироста затруднена по причине высокой частоты встречаемости выпадающих годичных колец [2, 3]. Если датировка на основе расчета коэффициентов синхронности затруднена, то может использоваться визуальный осмотр изменчивости годичных колец, при котором фиксируется не только изменчивость их ширины, но и ряд вспомогательных признаков: общий характер роста, наличие морозобойных и ложных колец, процент поздней древесины и др. [3, 4].

В настоящее время методы дендрохронологии достаточно хорошо разработаны и продолжают совершенствоваться [5–11]. Результаты дендроэкологических исследований, проведенных на основе изменчивости годичных колец, признаются мировым сообществом высоко достоверными.

Значительный объем исследовательских работ посвящен вопросам влияния климата на изменчивость годичных колец ели Шренка в условиях естественного ареала произрастания [12–16]. Любопытно отметить, что первой российской работой, в которой уделяется внимание закономерностям изменчивости годичных колец, по-видимому, был вышедший на немецком языке труд сотрудника Петербургского ботанического сада Александра Ивановича Шренка «Путешествие к северо-востоку Европейской России через тундры самоедов к северным Уральским горам, предпринятое в 1837 г. Александром Шренком» [17]. Второй том этого труда вышел в 1854 г., и, в частности, содержит сведения о том, что с южной стороны ствола дерева формируются более широкие годичные кольца, благодаря чему ствол дерева приобретает эксцентricность.

Цель работы

Цель работы — апробация ранее разработанной методики перекрестной датировки для деревьев, произрастающих на северном пределе возможной интродукции.

Первичная разработка методики выполнена на материале ели Шренка (*Picea schrenkiana* F. et M.) и ели восточной (*Picea orientalis* (L.) Link.) из Москвы. В рамках достижения этой цели ранее были обследованы посадки данных видов ели в Главном ботаническом саду им. Н.В. Цицина

Российской академии наук [4]. В данной работе изложены результаты исследований роста ели Шренка в Ботаническом саду МГУ имени М.В. Ломоносова. Природный ареал ели Шренка расположен в горах Тянь-Шаня [6, 18–21]. Этот вид, естественный ареал которого расположен значительно южнее Москвы и территория Москвы и Московской области, по существу, пред-

ставляет уже северную границу его возможной относительно успешной интродукции [18–20, 22].

Дендрохронологические исследования роста видов интродуцентов, произрастающих у крайней экологической границы своей возможной интродукции, сталкиваются с проблемой «выпадающих» годовичных колец. Высокая частота встречаемости «выпадающих» годовичных колец, разное число выпавших колец на образцах древесины, ограниченное число пригодных для исследования учетных деревьев затрудняют процедуру перекрестной датировки индивидуальных древесно-кольцевых хронологий. Тем самым затрудняется построение правильной обобщенной групповой хронологии, характеризующей рост вида в данных природно-климатических условиях, затрудняют выполнение дендрохронологического анализа [3, 4].

Выявление погодных условий, вызывающих формирование выпавших годовичных колец, позволяет выявить климатические факторы критически значимые для состояния этих видов деревьев, и затем с помощью учета орографии и разработки технологий ухода может позволить улучшить рост посадок этих видов в урбанизированной среде. Тема исследования соответствует актуальной научной задаче разработки методической базы для расширенного использования дендрохронологической информации в сфере лесного хозяйства и ухода за деревьями в урбанизированной среде [17, 23].

Материалы и методы

В сентябре 2014 г. в Ботаническом саду МГУ имени М.В. Ломоносова (далее — Ботсад МГУ) с учетных деревьев ели Шренка с помощью бурава Пресслера выполнен отбор образцов древесины для дендрохронологических исследований. Кernels отбирались по произвольно взятому радиусу, по одному kernelу с каждого учетного дерева (табл. 1, рис. 1).

Как видно по данным, приведенным в табл. 1, исследуемые учетные деревья характеризуются относительно небольшими для своего возраста размерами. Сопоставление таксационных параметров ели Шренка из Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина РАН (ГБС РАН) и из Ботсада МГУ приведено в табл. 2.

Таким образом, деревья ели Шренка на обоих объектах имеют сопоставимые размеры. Все они уступают по таксационным показателям автохтонной для Московской области ели европейской аналогичного возраста.

На примере ели Шренка и ели восточной из ГБС РАН ранее нами были разработаны методические приемы, которые могут быть использованы

Т а б л и ц а 1

Характеристика учетных деревьев ели Шренка (сентябрь 2014 г.)

Characteristics of Schrenk's spruce accounting trees (September 2014)

Номер учетного дерева	Диаметр на высоте 1,3 м (см)	Высота, м	Категория состояния	Высота отбора керна, м
1	20	15	2	1,5
2	18	14	2	1,5
3	18	14	2	1,5
4	14	13	2	1,5
5	16	14	3	1,5
6	14	14	2	1,5
7	11	10	2	1,5
8	16	12	2	1,5

Примечание. У ели № 1 на высоте 50 см ствол раздвоен.



Рис. 1. Ель Шренка в дендрарии Ботанического сада МГУ имени М.В. Ломоносова

Fig. 1. Schrenk's spruce tree in the arboretum of Moscow State University

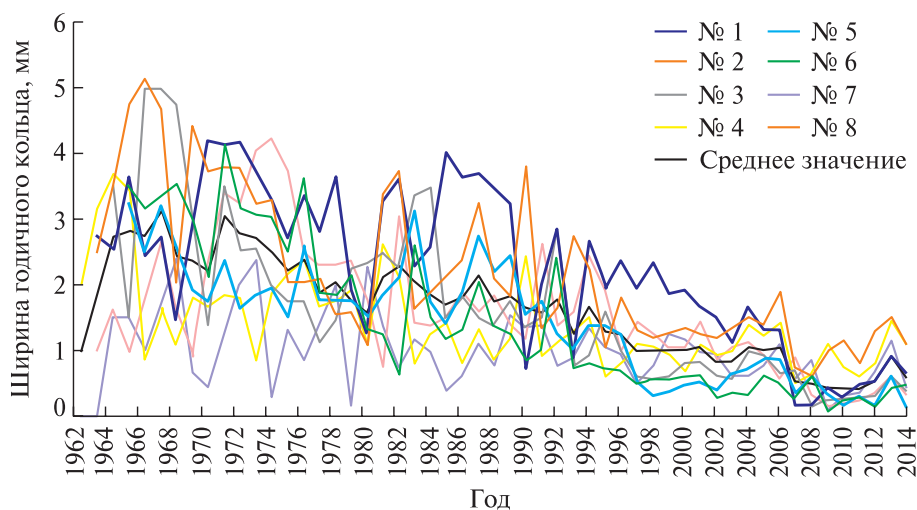


Рис. 2. Первичные результаты измерения ширины годичных колец у учетных деревьев (№ 1–8) ели Шренка

Fig. 2. Primary results of measuring the width of the annual ring in Schrenk's spruce accounting trees

Т а б л и ц а 2

Обобщенные характеристики учетных деревьев ели Шренка на двух объектах
Generalized characteristics of Schrenk's spruce accounting trees at two sites

Вид	Средний диаметр на высоте 1,3 м (см)	Средняя высота, м	Средняя категория состояния, балл	Число учетных деревьев
Ель Шренка в ГБС РАН	15,6	12	2,5	6
Ель Шренка в Ботсаду МГУ	15,8	13,2	2,1	8

для перекрестной датировки индивидуальных древесно-кольцевых хронологий хвойных видов интродуцентов [4]:

А) использование в качестве эталонной хронологии индивидуальной хронологии дерева с наилучшим состоянием; построение «промежуточной средней» по материалам двух и более датированных между собой хронологий;

Б) итерационный метод формирования эталонной хронологии — последовательный расчет ее на основе средней по всем правильно датированным на данном этапе работы хронологиям;

В) выявление годичных колец со специфической анатомической структурой и проверка гипотезы о том, что характерные кольца сформировались в один и тот же год, отличающийся своеобразными характеристиками погодного режима;

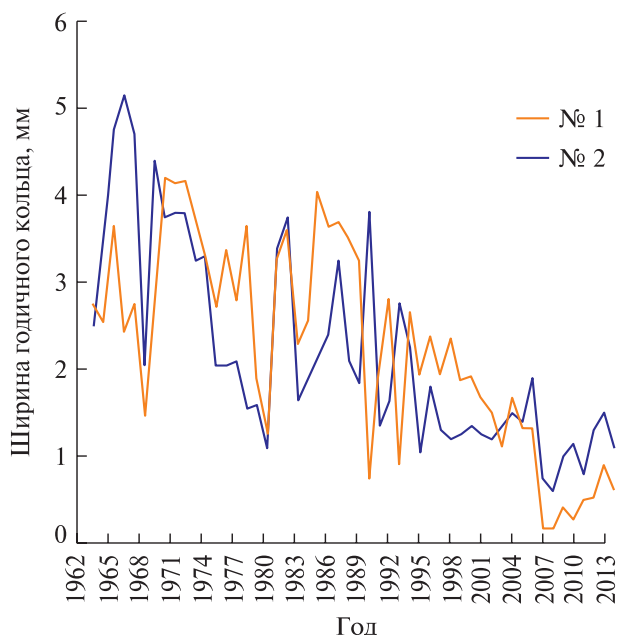


Рис. 3. Сравнение хронологий учетных деревьев ели Шренка № 1 и № 2

Fig. 3. Graph comparing the chronologies of Schrenk's spruce accounting trees No. 1 and No. 2

Г) привлечение к процедуре датировки хронологий по иным видам данного рода из числа успешно произрастающих в данном регионе условиях интродукции, а также, если это возможно, то и автохтонных для региона.

Результаты и обсуждение

Сопоставление полученных в результате измерений временных рядов радиального прироста учетных деревьев ели Шренка между собой, а

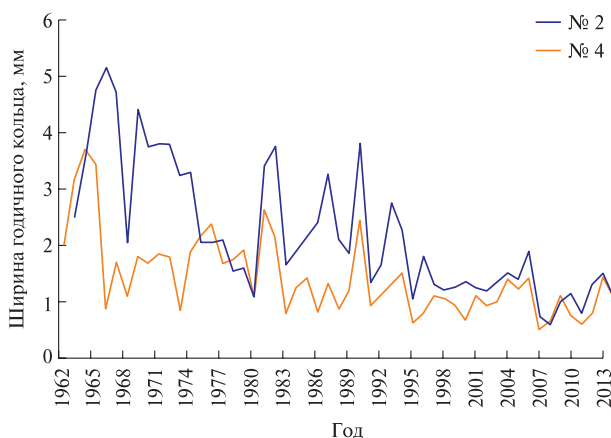


Рис. 4. Сравнение хронологий учетных деревьев ели Шренка № 2 и № 4

Fig. 4. Graphs of Schrenk's spruce accounting trees No. 2 and No. 4 chronologies

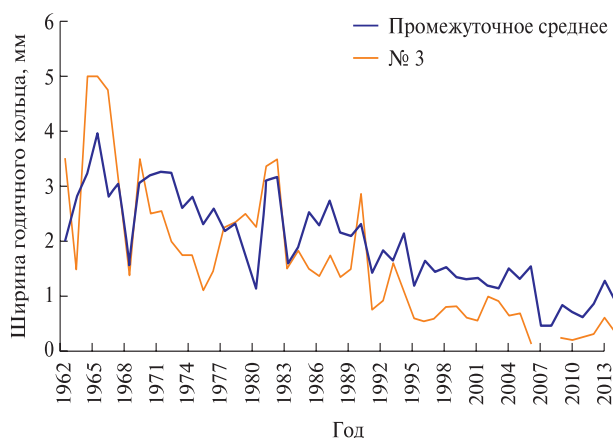


Рис. 5. Сравнение хронологий промежуточного значения учетных деревьев ели Шренка № 1, 2, 4 и № 3

Fig. 5. Graphs of the intermediate value of Schrenk's spruce accounting trees numbers 1, 2, 4 and No. 3 chronologies



Рис. 6. Сравнение хронологий промежуточного значения учетных деревьев ели Шренка № 1, 2, 4 и № 5

Fig. 6. Graphs of comparison of the intermediate value of Schrenk's spruce accounting trees numbers 1, 2, 4 and No. 5 chronologies

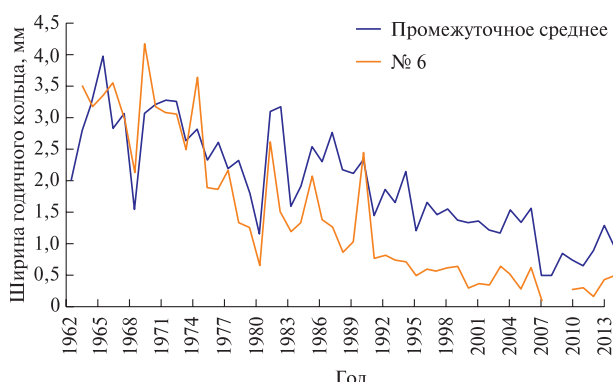


Рис. 7. Сравнение хронологий промежуточного значения учетных деревьев ели Шренка № 1, 2, 4 и № 6

Fig. 7. Charts for comparing the chronologies of the intermediate value of Schrenk's spruce accounting trees numbers 1, 2, 4 and No. 6

также с групповой средней хронологией, показало наличие значительной асинхронности в колебаниях прироста (рис. 2).

Так же, как и в ГБС РАН, в качестве эталонной хронологии нами была принята хронология с максимально широкими годовыми кольцами, т. е. хронология дерева, для роста которого данная среда наиболее благоприятна (учетное дерево № 2).

Проводилась последовательная визуальная перекрестная датировка хронологий в программе Microsoft Excel, отдельные примеры которой на примере учетного дерева отражает серия графиков (рис. 3–9).

После применения процедуры перекрестной датировки удалось датировать все остальные хронологии между собой (рис. 10). Важную роль в процессе перекрестной датировки играл характерный минимум 1968 г., характерный максимум 1981 г. и характерный максимум 1990 г., повторяющиеся у каждой индивидуальной хронологии. Важно отметить, что характерный максимум

1990 г., который ранее наблюдался нами при исследовании деревьев ели Шренка из ГБС РАН, также наблюдается и при исследовании деревьев ели Шренка из Ботсада МГУ, что говорит об идентичности, реакции прироста деревьев ели Шренка в г. Москва на условия этого года.

На рис. 10 отражены итоги выполненной визуальной датировки индивидуальных древесно-кольцевых хронологий и средняя ценопопуляционная хронология, построенная после выполнения процедуры перекрестной датировки.

Строение нормально сформированных годовых колец у ученого дерева ели Шренка № 1 отражает микрофото (рис. 11).

Рис. 11 показывает, что также как и в ценопопуляции ели Шренка из ГБС РАН в ценопопуляции ели Шренка из Ботанического сада МГУ в 2007 г. произошло резкое снижение ширины годового кольца продолжившееся и в 2008 г. У части деревьев в это время произошло формирование выпавших годовых колец (рис. 12).

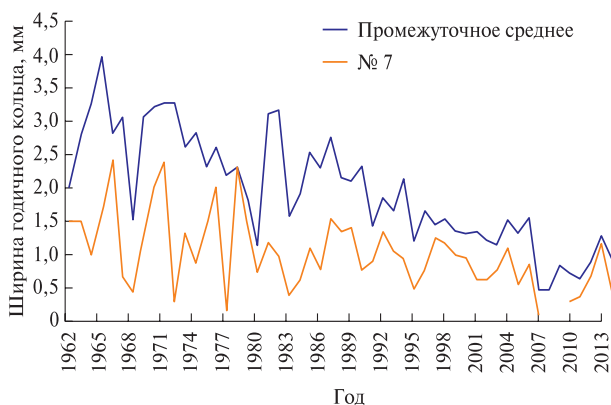


Рис. 8. Сравнение хронологий промежуточного значения учетных деревьев ели Шренка № 1, 2, 4 и № 7
Fig. 8. Charts for comparing the chronologies of the intermediate value of Schrenk's spruce accounting trees numbers 1, 2, 4 and No. 7



Рис. 9. Сравнения хронологий промежуточного значения учетных деревьев ели Шренка № 1, 2, 4 и № 8
Fig. 9. Charts for comparing the chronologies of the intermediate value of Schrenk's spruce accounting trees numbers 1, 2, 4 and No. 8

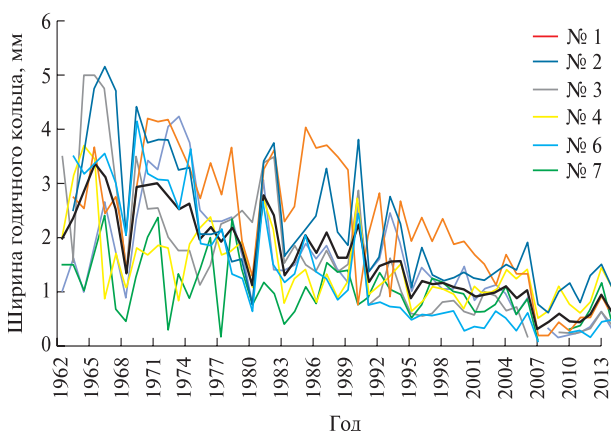


Рис. 10. Динамика радиального прироста у учетных деревьев ели Шренка из Ботсада МГУ по итогам перекрестной датировки
Fig. 10. Dynamics of radial growth in Schrenk's spruce accounting trees from the Botanical Garden of Moscow State University based on the results of cross-dating



Рис. 11. Строение годичных колец у учетного дерева № 1 ели Шренка (слева направо 2014, 2013, 2012, 2011, 2010, 2009, 2008, 2007, 2006 и т. д.)
Fig. 11. The structure of growth rings at the Schrenk's spruce accounting tree No. 1 (left to right 2014, 2013, 2012, 2011, 2010, 2009, 2008, 2007, 2006 etc.)

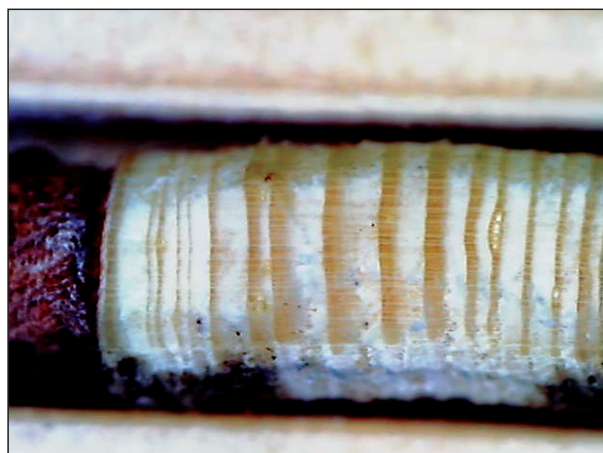


Рис. 12. Выпавшие годичные кольца учетного дерева № 3 ели Шренка
Fig. 12. Fallen annual rings of the Schrenk's spruce accounting tree no. 3

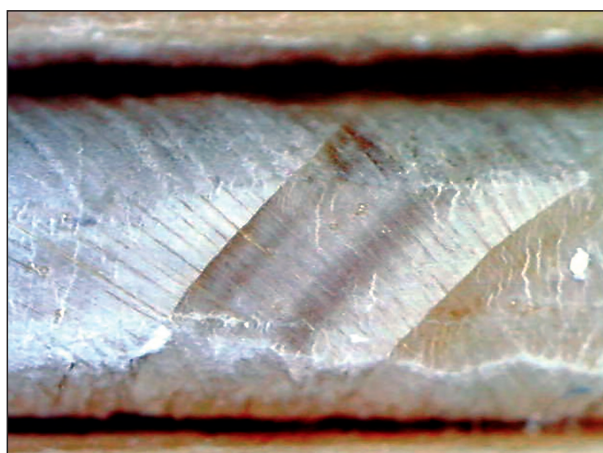


Рис. 13. Ложное годичное кольцо в ювенильной древесине учетного дерева № 1 ели Шренка
Fig. 13. False annual ring in the juvenile wood of Schrenk's spruce accounting tree No. 1

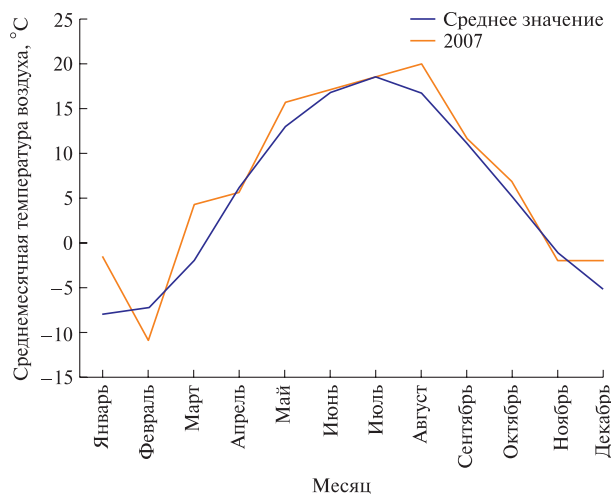


Рис. 14. Сопоставление средних месячных температур воздуха в 2007 г. со среднемноголетними показателями
Fig. 14. Comparison of average monthly air temperatures in 2007 with long-term averages

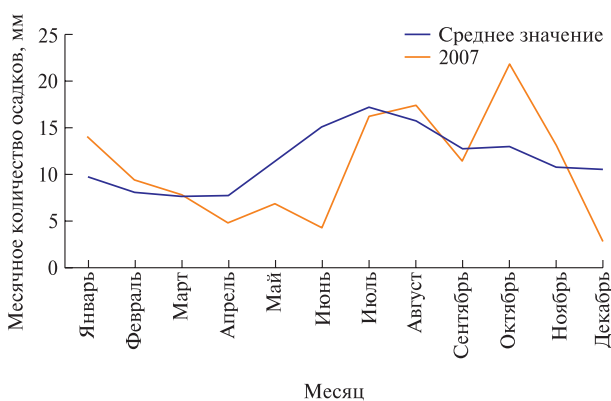


Рис. 15. Сопоставление месячных сумм осадков в 2007 г. со среднемноголетними показателями
Fig. 15. Comparison of monthly precipitation amounts in 2007 with long-term averages

При анализе кернов были выявлены ложные годовичные кольца (рис. 13). Однако их формирование оказалось приурочено не к отдельному году, а к центральным годовичным кольцам керна, т. е. к ювенильной древесине. Годичное кольцо 1979 г. в ценопопуляции из Ботсада МГУ имело нормальную анатомическую структуру.

Причины формирования экстремально узкого годовичного кольца или же формирования выпавших годовичных колец у ряда деревьев в 2007 г. и в последующие 2008–2010 годы носят климатический характер. Для их выявления был использован метод климаграмм [18, 23].

Данные о динамике средних месячных температур в 2007 г. по сравнению со средними среднемноголетними показателями за период 1949–2019 гг. отражены на рис. 14. Данные о динамике месячной суммы осадков в 2007 г. по сравнению со средним многолетними показателями за период 1949–2019 гг. отражены на рис. 15.

Анализ рис. 14 и рис. 15 позволяет выделить экстремально теплый январь 2007 г., сменившийся экстремально холодным февралем. По-видимому, деревья ели Шренка вышли из состояния зимнего покоя под воздействием январских оттепелей и затем были повреждены наступившими морозами. Состояние перезимовавших деревьев усугубила засуха в начале вегетационного периода: осадки апреля, мая и в особенности июня оказались значительно ниже нормы. Сочетание подобного рода погодных условий резко отрицательно повлияло на состояние ели Шренка. Выпавшие кольца, начиная с 2007 г. и далее формировались также и у учетных деревьев ели Шренка из Главного ботанического сада РАН [19, 24, 25].

Таким образом, предложенный нами методический подход — выбирать в качестве эталонной хронологии индивидуальную древесно-кольцевую хронологию, характеризующуюся максимальными для ценопопуляции значениями ширины годовичного кольца, оказался эффективным как для деревьев ели Шренка из ГБС РАН, так и для деревьев ели Шренка из Ботсада МГУ. Он был дополнен процедурой последовательных итераций, состоящей из расчета промежуточного среднего между первоначально выбранной хронологией и успешно с датированной второй хронологией, среднего из промежуточной средней и успешно датированной третьей хронологией и так далее. Данные подходы применимы, когда число учетных деревьев ограничено, а длина временного ряда изменчивости годовичных колец невелика.

Выводы

В хронологиях, имеющих многочисленные выпавшие годовичные кольца, использование перекрестной датировки на основе расчетов коэффициентов сходства между дендрохронологическими рядами затруднено. Для таких объектов (например, видов хвойных, находящихся на границе возможной интродукции) эффективны следующие приемы: использование в качестве эталонной хронологии индивидуальной хронологии учетного дерева с самыми широкими годовичными кольцами, а не средней групповой хронологии; анализ распределения годовичных колец аномальной анатомической структуры; привлечение хронологий по родственным видам и перекрестная датировка по методу Дугласа с учетом анализа распределения характерных для рода экстремумов прироста.

Список литературы

- [1] Douglass A.E. Climatic cycles and tree-growth. A study the annual rings of trees in relation to climate and solar activity. Washington: Carnegie institution, 1919, 127 p.
- [2] Шиятов С.Г. Дендрохронология верхней границы леса на Урале. М.: Наука, 1986. 136 с.

- [3] Матвеев С.М. Дендроиндикация динамики состояния сосновых насаждений Центральной лесостепи. Воронеж: Изд-во Воронежского государственного университета, 2003. 272 с.
- [4] Румянцев Д.Е., Епишков А.А. Особенности перекрестной датировки индивидуальных древесно-кольцевых хронологий у видов интродуцентов (на примере ели восточной и ели Шренка в условиях г. Москва) // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2014. № 5. С. 138–145.
- [5] Соломина О.Н. Засухи Восточно-Европейской равнины по гидрометеорологическим и дендрохронологическим данным. СПб: Нестор-История, 2017, 360 с.
- [6] Ткаченко М.Е. Общее лесоводство. М.; Л.: Гослесбуиздат, 1955. 599 с.
- [7] Cook E.R. A time series analysis approach to tree ring standartization. A dissertation submitted to the Faculty of the School of renewable natural resources. University of Arizona, 1985, 171 p.
- [8] Fritts H.C. Tree rings and climate. London. New York – San Francisco: Academic press, 1976, 576 p.
- [9] Lipatkin V.A., Rummyantsev D.E. Dendrochronological technology for identifying a place of timber origin // Research J. of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences, 2017, t. 8, no. 2, pp. 2089–2092.
- [10] Methods of dendrochronology: application in the environmental sciences / eds. E. Cook, L. Kairiukstis. Kluwer Academic Publishers, 1992, 408 p.
- [11] Schweingruber F.H. Tree-rings and Environment. Dendroecology. Birmensdorf, Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Researches. Bern, Stuttgart, Vienna, Haupt, 1996, 609 p.
- [12] Huo Yu., Grou X., Liu W., Li J., Zhang F., Fang K. Climate-growth relationships of Sereck spruce (*Picea schrenkiana*) along the altitudinal gradient in the western Tianshan mountains, northewest China // Trees, 2017, v. 31, pp. 429–439.
- [13] Jiao L., Cheng K., Wang Sh., Liu X. Stability evaluation of radial growth of *Picea schrenkiana* in different age groups in response to climate change in the Earstern Tianshan Mountains // J. of Mountain Science, 2020, v.17, pp. 1735–1748.
- [14] Solomina O., Maximova O., Cook E. *Picea Schrenkiana* ring width and density at the upper and lower tree limits in the Tien Shan MTS (Kyrgyz republic) as a source of paleoclimatic information // Geography environment sustainability, 2014, v. 7 (1), pp. 66–79.
- [15] Zhang R., Ermenbaev B., Zhang T., Ali M., Qin L., Satylkanov R. The radial growth of Schrenk spruce (*Picea schrencia* Fisch. et Mey.) records he hydroclimatic changes in the Chu River Basin over past 175 years // Forests, 2019, v. 10, pp. 1–11.
- [16] Magnustewski M. Dendroecologiczna charakterystyka swierka Schrenka (*Picea schrenkiana*) w gorah Tien-Shan w Kyrgyzstane. Praca doktorska. Warszawa, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, 2013, 116 p. [in Polish]
- [17] Румянцев Д.Е. Потенциал использования дендрохронологической информации в лесной науке и практике: дис. ... д-ра биол. наук. М.: МГУЛ, 2011. 355 с.
- [18] Каппер О.Г. Хвойные породы. М.; Л.: Гослесбуиздат, 1954. 303 с.
- [19] Колесников А.И. Декоративная дендрология. М.: Лесная промышленность, 1974. 703 с.
- [20] Полезные растения СССР. Т. I. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1951. 198 с.
- [21] Eckenwalder J.E. Conifers of the world. Portland and London, Timber press, 2009. 720 p.
- [22] Древесные растения Главного ботанического сада им. Цицина РАН: 60 лет интродукции / ред. А.С. Демидов. М.: Наука, 2005. 586 с.
- [23] Румянцев Д.Е. История и методология лесоводственной дендрохронологии. М.: МГУЛ, 2010. 109 с.
- [24] Максимова О.Е. Древесно-кольцевая хронология ели Шренка за последние семь столетий для района ледника Эньльчек на Тянь-Шане // Лёд и снег, 2011. № 1 (113). С. 124–130.
- [25] Lovelius N.V. Dendroindication of natural processes and anthropogenic influences. St-Peterburg: World and Family-95, 1997, 320 p.

Сведения об авторах

Епишков Антон Алексеевич — аспирант МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), kam_ant1983@mail.ru

Румянцев Денис Евгеньевич✉ — д-р биол. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), dendro15@list.ru

Бойко Григорий Александрович — ст. науч. сотр. Биологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, зав. сектором дендрологии Ботанического сада, ga-boyko@yandex.ru

Поступила в редакцию 02.03.2022.

Одобрено после рецензирования 09.06.2022.

Принята к публикации 15.08.2022.

DENDROECOLOGICAL GROWTH RESEARCH FOR *PICEA SCHRENKIANA* IN BOTANICAL GARDEN OF M.V. LOMONOSOV MOSCOW STATE UNIVERSITY BY TREE-RING DATA ANALYSIS

A.A. Epishkov¹, D.E. Rumyantsev^{1✉}, G.A. Boyko²

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

²Botanical Garden Lomonosov of the M.V. Lomonosov Moscow State University, 1/12, Leninskie Gory, 119991, Moscow, Russia

dendro15@list.ru

Based on the material of the Schrenk's spruce (*Picea schrenkiana* F. et. M.) from the MSU Botanical Garden, time series of radial growth and dated chronologies of this spruce species were obtained for the first time. A previously developed specific method of cross-dating of tree-ring chronologies has been tested, which is suitable for obtaining dendrochronological information in species growing at the extreme limits of introduction. Fallen annual rings were found in a number of trees in 2007, 2008, 2009, 2010. The main adverse effect on the growth of the Schrenk's spruce took place in 2007, after which each tree had a different number of annual rings (depending on the strength of the damage). By the method of climagrams, it was found that the main adverse effect in 2007 was caused by increased temperatures in January, frosts in February and the subsequent drought at the beginning of the growing season.

Keywords: Cross-dating, introduced species, fallen tree rings, tree-ring chronology

Suggested citation: Epishkov A.A., Rumyantsev D.E., Boyko G.A. *Dendroekologicheskoe issledovanie rosta eli Shrenka v Botanicheskom sadu MGU imeni M.V. Lomonosova po dannym analiza godichnykh kolets* [Dendroecological growth research for *Picea Schrenkiana* in Botanical garden of M.V. Lomonosov Moscow State University by tree-ring data analysis]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 5, pp. 31–39.

DOI: 10.18698/2542-1468-2022-5-31-39

References

- [1] Douglass A.E. Climatic cycles and tree-growth. A study the annual rings of trees in relation to climate and solar activity. Washington: Carnegie institution, 1919, 127 p.
- [2] Shiyatov S.G. *Dendrokronologiya verkhney granitsy lesa na Urale* [Dendrochronology of the upper forest boundary in the Urals]. Moscow: Nauka, 1986, 136 p.
- [3] Matveev S.M. *Dendroindikatsiya dinamiki sostoyaniya sosnovykh nasazhdeniy Tsentral'noy lesostepi* [Dendroindication of the dynamics of the state of pine plantations in the Central forest-steppe]. Voronezh: Voronezh State University, 2003, 272 p.
- [4] Rumyantsev D.E., Epishkov A.A. *Osobennosti perekrestnoy datirovki individual'nykh drevesno-kol'tsevnykh khronologiy u vidov introdutsentov (na primere eli vostochnoy i eli Shrenka v usloviyakh g. Moskva)* [Peculiarities of cross-dating of individual tree-ring chronologies in introduced species (on the example of Eastern spruce and Schrenk spruce in the conditions of Moscow)]. Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik, 2014, no. 5, pp. 138–145.
- [5] Solomina O.N. *Zasukhi Vostochno-Evropeyskoy ravniny po gidrometeorologicheskim i dendrokronologicheskim dannym* [Droughts of the East European Plain according to hydrometeorological and dendrochronological data]. St. Petersburg: Nestor-Istoriya, 2017, 360 p.
- [6] Tkachenko M.E. *Obshchee lesovodstvo* [General forestry]. Moscow–Leningrad: Goslesbumizdat, 1955, 599 p.
- [7] Cook E.R. A time series analysis approach to tree ring standartization. A dissertation submitted to the Faculty of the School of renewable natural resources. University of Arizona, 1985, 171 p.
- [8] Fritts H.C. Tree rings and climate. London. New York – San Francisco: Academic press, 1976, 576 p.
- [9] Lipatkin V.A., Rumyantsev D.E. Dendrochronological technology for identifying a place of timber origin // *Research J. of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 2017, t. 8, no. 2, pp. 2089–2092.
- [10] *Methods of dendrochronology: application in the environmental sciences* / Eds. E. Cook, L. Kairiukstis. Kluwer Academic Publishers, 1992, 408 p.
- [11] Schweingruber F.H. Tree-rings and Environment. Dendroecology. Birmensdorf, Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Researches. Bern, Stuttgart, Vienna, Haupt, 1996, 609 p.
- [12] Huo Yu., Grou X., Liu W., Li J., Zhang F., Fang K. Climate-growth relationships of Schrenk spruce (*Picea schrenkiana*) along the altitudinal gradient in the western Tianshan mountains, northwest China // *Trees*, 2017, v. 31, pp. 429–439.
- [13] Jiao L., Cheng K., Wang Sh., Liu X. Stability evaluation of radial growth of *Picea schrenkiana* in different age groups in response to climate change in the Eastern Tianshan Mountains // *J. of Mountain Science*, 2020, v. 17, pp. 1735–1748.
- [14] Solomina O., Maximova O., Cook E. *Picea Schrenkiana* ring width and density at the upper and lower tree limits in the Tien Shan MTS (Kyrgyz republic) as a source of paleoclimatic information // *Geography environment sustainability*, 2014, v. 7 (1), pp. 66–79.
- [15] Zhang R., Ermenbaev B., Zhang T., Ali M., Qin L., Satylkanov R. The radial growth of Schrenk spruce (*Picea schrenkiana* Fisch. et Mey.) records the hydroclimatic changes in the Chu River Basin over past 175 years // *Forests*, 2019, v.10, pp. 1–11.
- [16] Magnustewski M. Dendroecologiczna charakterystyka swierka Schrenka (*Picea schrenkiana*) w gorach Tien-Shan w Kirgystanie. Praca doktorska. Warszawa, 2013, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, 116 p. [in Polish]
- [17] Rumyantsev D.E. *Potentsial ispol'zovaniya dendrokronologicheskoy informatsii v lesnoy nauke i praktike* [The potential of using dendrochronological information in forest science and practice]. Diss. Sci. Dr. Moscow: MGUL, 2011, 355 p.

- [18] Kapper O.G. *Khvoynye porody* [Coniferous breeds]. Moscow-Leningrad: Goslesbumizdat, 1954, 303 p.
- [19] Kolesnikov A.I. *Dekorativnaya dendrologiya* [Decorative dendrology]. Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1974, 703 p.
- [20] *Poleznye rasteniya SSSR* [Useful plants of the USSR]. T. I. Moscow-Leningrad: AN SSSR, 1951, 198 p.
- [21] Eckenwalder J.E. *Conifers of the world*. Portland and London, Timber press, 2009, 720 p.
- [22] *Drevesnye rasteniya Glavnogo botanicheskogo sada im Tsitsina RAN: 60 let introduktsii* [Woody plants of the Main Botanical Garden named after Tsitsin RAS: 60 years of introduction]. Ed. A.S. Demidov. Moscow: Nauka, 2005, 586 p.
- [23] Rumyantsev D.E. *Istoriya i metodologiya lesovodstvennoy dendrokronologii* [History and methodology of silvicultural dendrochronology]. Moscow: MGUL, 2010, 109 p.
- [24] Maksimova O.E. *Drevesno-kol'tsevaya khronologiya eli Shrenka za poslednie sem' stoletiy dlya rayona lednika Enyl'chek na Tyan'-Shane* [Tree-ring chronology of the Schrenk spruce over the past seven centuries for the region of the Enylchek glacier in the Tien Shan]. *Led i sneg* [Ice and snow], 2011, no. 1 (113), pp. 124–130.

Authors' information

Epishkov Anton Alekseevich — Pg. student of the BMSTU (Mytishchi branch), kam_ant1983@mail.ru

Rumyantsev Denis Evgen'evich ✉ — Dr. Sci. (Biology), Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), dendro15@list.ru

Boyko Grigoriy Aleksandrovich — Senior Researcher at the Faculty of Biology of Lomonosov Moscow State University, Head the Dendrology sector of the Botanical garden, ga-boyko@yandex.ru

Received 02.03.2022.

Approved after review 09.06.2022.

Accepted for publication 15.08.2022.

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

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

The authors declare that there is no conflict of interest

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ ГРАНИЦ СТАВРОПОЛЬСКОГО ГОРОДСКОГО ЛЕСНИЧЕСТВА

Д.А. Липилин^{1,2}, Д.А. Гура^{1,3}, Е.В. Яроцкая¹, Н.О. Науменко³✉

¹ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», 350044, Краснодарский край, г. Краснодар, ул. им. Калинина, д. 13

²ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет», 350040, Краснодарский край, г. Краснодар, ул. Ставропольская, д. 149

³ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», 350072, Краснодарский край, г. Краснодар, ул. Московская, д. 2

naumenko.nadyusha@mail.ru

Проведено исследование методом сравнения пространственных данных проекта организации и ведения лесного хозяйства Ставропольского лесхоза. Общая площадь Ставропольского городского лесничества с 1997 по 2021 гг. увеличилась на 564,7 га благодаря присоединению территории, покрытой степным ландшафтом. Установлено, что 429,75 га покрытых лесным массивом территорий было исключено из лесничества. Исходя из сведений Единого государственного реестра недвижимости массивы, которые были исключены из состава лесничества, в настоящее время используются под жилую застройку. На космических снимках показаны границы территорий урочищ на момент 1997 и 2021 года, отмечены разными цветами территории, исключенные из общей площади лесничества, а также добавленные участки. Проведенный сравнительный анализ данных за 1997, 2013 и 2021 годы позволяет выявить все изменения в качественном и количественном аспекте. В соответствии с результатами исследования, за исследуемый период прослеживается положительная динамика увеличения площади Ставропольского городского лесничества. Однако установлено, что на основании результатов детального анализа изменения площади урочищ и краевых заказников, площадь земель лесного фонда, входящих в состав лесничества, уменьшилась. Проведен анализ факторов, оказавших негативное влияние на лесной фонд.

Ключевые слова: геоинформационные системы, спутниковый мониторинг, лесной фонд, лесничество, лесоустройство, лесохозяйственный регламент, особо охраняемые природные территории

Ссылка для цитирования: Липилин Д.А., Гура Д.А., Яроцкая Е.В., Науменко Н.О. Геоинформационный анализ изменения границ Ставропольского городского лесничества // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 5. С. 40–53. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-5-40-53

Ставропольский край расположен на юге европейской части Российской Федерации, в центральной и восточной части Северного Кавказа.

Земли Ставропольского края можно отнести к тем территориям, на которых площадь земель лесного фонда незначительна — 114,6 тыс. га или 1,7 % площади всех земель. Лесистость, показатель степени облесенности территории, рассчитываемая отношением территорий с преобладающей лесной растительностью к площади территории всего региона, составляет 0,1 %...7,0 %. Показатели зависят от климатических, почвенных и физико-географических условий [3, 4].

Происходящие негативные процессы, такие как подтопление, заболачивание, рост оврагов, сбитость пастбищ, ветровая и водная эрозия, нивелируются проводимыми мероприятиями по лесоразведению и защите леса, что дает благоприятный эффект по стабилизации ситуации [1, 2].

21 августа 2008 года вышел приказ Рослесхоза по Ставропольскому краю, в котором было

утверждено 12 государственных казенных учреждений (лесничеств) для охраны и использования, воспроизводства и защиты лесов (рис. 1), в том числе и Ставропольское.

Ставропольское городское лесничество находится на западе Ставропольского края в пределах территории города Ставрополя. В соответствии с районированием территории Ставропольского края по признакам различия и сходства агроклиматических условий земли Ставропольского городского лесничества расположены в зоне неустойчивого увлажнения, которая характеризуется следующими факторами: теплым сухим летом, длительным вегетационным периодом, умеренно-континентальным климатом, умеренной зимой и недостаточным увлажнением [5–7]. Температура в летний период в среднем составляет +21,5 °С, а в зимний –5 °С. Максимально низкую зимнюю температуру, в частности –31 °С, вызывает появление холодных воздушных масс с Атлантического океана. Критическая температура летом поднимается до +40 °С вследствие перемещения воздушных масс из тропических широт [8, 9].

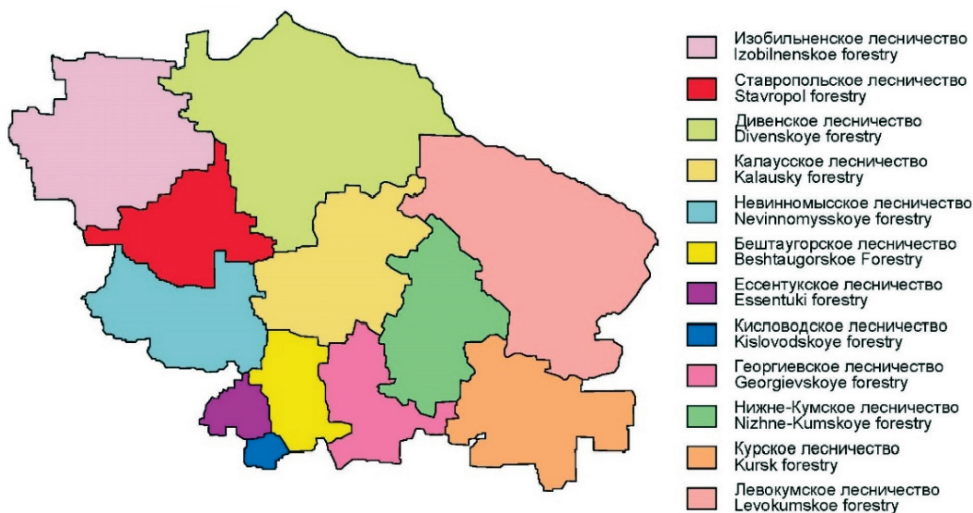


Рис. 1. Схема организации лесничеств Ставропольского края
Fig. 1. Scheme of the forestry units in Stavropol Territory

Осенью распространены осадки в виде сильных дождей. Зимой слой снега может достигать 16 см, хотя снежный покров нестабильный и сохраняется не более 2 мес. Среднее количество осадков за год — 480 мм.

Ставропольское городское лесничество размещено на пересеченной местности, некоторые формы рельефа позволяют увидеть древние морские отложения [10–12]. Территория разделена балками и долинами рек на отдельные столовые горы; отложения представлены известняками, глинами и песчаниками. Почвы отличаются большим разнообразием [13, 14]. Преимущественно это карбонатный чернозем средне- и тяжелосуглинистого механического состава, что обуславливает его высокое плодородие. Изредка встречаются солонцевато-глинистые и песчано-глинистые разновидности чернозема.

Цель работы

Цель работы — анализ динамики изменений границ урочищ, входящих в состав Ставропольского городского лесничества, с 1997 по 2021 год, отображение изменений на фрагментах космоснимка.

Материалы и методы

Лесоустроительные работы с 1985 по 1997 гг. во всех бывших лесхозах Ставропольского края проводила Вторая Воронежская экспедиция Государственного специализированного лесоустроительного предприятия «Воронежлеспроект». Лесхозами производились работы по упорядочению территории в дни выполнения комплекса подготовительных работ к лесоустройству. С органами землеустройства каждого района были согласованы границы и площади лесного фонда лесхозов, а также проведена инвентаризация лес-

ного фонда методом глазомерно-измерительной и наземной глазомерной таксации [15, 16].

За исходные данные для анализа динамики изменения границ урочищ, входящих в состав Ставропольского городского лесничества, были взяты материалы:

– Постановление Администрации города Ставрополя Ставропольского края от 19 февраля 2021 г. N 339 «Об утверждении лесохозяйственного регламента Ставропольского городского лесничества»;

– Постановление Администрации города Ставрополя Ставропольского края от 17 июня 2013 г. N 1970 «Об утверждении лесохозяйственного регламента Ставропольского городского лесничества»;

– проект организации и ведения лесного хозяйства Ставропольского лесхоза (ФГБУ «Воронежлеспроект», г. Воронеж, 1997 г.).

В настоящем исследовании кроме вышеуказанных данных о границах лесного фонда в качестве дополнительного источника информации о текущем состоянии местности были использованы актуальные спутниковые фотоснимки сверхвысокого пространственного разрешения (0,5...1,0 м) полученные из программного комплекса Google Earth Pro, с высокой обзорностью и информативностью.

Обработка спутниковых фотоснимков и картографических материалов проводилась в профессиональном геоинформационном программном обеспечении (программный комплекс ArcGIS) в системах координат WGS-84 UTM zone 37N и местной системе координат Ставропольского края (МСК-26). Выбор данных систем координат обусловлен прежде всего наличием разнообразных исходных данных, например, спутниковые снимки имеют исходную привязку во всемирной системе геодезических параметров Земли

1984 года (WGS-84), а границы лесного фонда, представленные в нормативно-правовых актах, в системе координат единого государственного реестра недвижимости (МСК-26).

На первоначальном этапе была осуществлена пространственная привязка к местности лесоустроительных материалов, а также к картам-схемам участков Ставропольского городского лесничества, представленных в нормативно-правовых актах. Следующим шагом была выполнена оцифровка привязанных материалов и создание пространственных слоев (в формате *.shp). Далее решение поставленных задач пространственного анализа осуществлялось на основе применения как общенаучных методов (описания, сравнения), так и специализированных (картографического, геоинформационного) посредством осуществления ретроспективного анализа и интерпретации графической информации [17, 18].

Анализ изменения площади проводился как в целом в лесничестве, так и в каждом из следующих урочищ: «Мамайская лесная дача», «Русская лесная дача», «Таманская лесная дача», «Члинский лес», «Ташлянский склон», «За бойней», «Мутнянка», «Надежда», «Сенгилеевское озеро», Краевой заказник «Вишневая поляна», «Бибердова дача», Краевой заказник «Приозерный». В результате были выявлены сводные данные по изменению площади и количеству участков Ставропольского городского лесничества (табл. 1).

Результаты и обсуждение

Согласно официальным данным Управления Федеральной службы государственной статистики по Северо-Кавказскому федеральному округу за последние три десятилетия наблюдается значительный рост постоянно проживающего населения города Ставрополя, что обусловило значительное увеличение стоимости земельных ресурсов, повышение рекреационной нагрузки на леса как места отдыха жителей города. Как следствие, санитарное состояние Ставропольского городского лесничества ухудшилось, участились лесные пожары, и нарушилось соблюдение санитарных норм в лесном фонде [21]. С ростом населения увеличивался жилой фонд, нередко путем застройки территории по границам рассматриваемого лесничества. Такая тенденция четко видна на фрагментах космоснимков урочищ «Мутнянка», «Русская Лесная дача», «Таманская лесная дача» и др.

Как известно, климатические факторы оказывают большое влияние на растительность, в том числе лесную. Систематически повторяющиеся засухи и суховеи, сильные ветры, которые в наибольшей степени проявляются на возвышенных участках и в долинах, поздневесенние и раннео-

Т а б л и ц а 1

Сводные данные о динамике площадей и количестве участков Ставропольского городского лесничества

Summary data on the dynamics of the areas and the number of the Stavropol urban forestry plots

По состоянию на год	Количество земельных участков, шт.	Площадь, га
1997	54 лесных квартала (кадастровые номера земельных участков отсутствуют)	3374
2013	189	2454,9
2021	214	3938,7

Т а б л и ц а 2

Урочища Ставропольского городского лесничества и динамика изменения их площадей с 2013 по 2021 гг.

Stavropol urban forestry stows and the dynamics of area changes from 2013 to 2021

Наименование урочища	Площадь, га		Динамика 2013–2021 г.	
	2013	2021	га	%
«Мамайская лесная дача»	944,1	954,43	+10,33	1,1
«Русская лесная дача»	259,9	262,3	+2,4	0,9
«Таманская лесная дача»	441,5	441,8	+0,3	0,1
«Члинский лес»	196,2	196,2	0	0
«Ташлянский склон»	72,7	72,7	0	0
«За бойней»	39,2	39,2	0	0
«Мутнянка»	47,6	48,1	+0,5	1
«Надежда»	278,9	279,4	+0,5	0,2
«Сенгилеевское озеро»	174,8	174,8	0	0
Краевой заказник «Вишневая поляна»	–	72,6	+72,6	100
«Бибердова дача»	–	7,82	+7,82	100
Краевой заказник «Приозерный»	–	1389,4	+1389,4	100
Итого	2454,9	3938,7	+1483,8	38

сенние заморозки, туманы, как правило, зимние обледенения, в частности образование корок льда (ожеледей) и повреждение ими деревьев, а также крутые склоны, затрудняющие искусственное лесоразведение, — все это в совокупности сформировало в целом неблагоприятные, а порой, и непригодные условия для лесоразведения [19, 20], обусловило потерю биологической устойчивости насаждений, снижение полезных функций леса, широкое распространение патологических явлений и в результате привело к уменьшению покрытой лесом площади, хотя и в пределах лесного фонда [22].

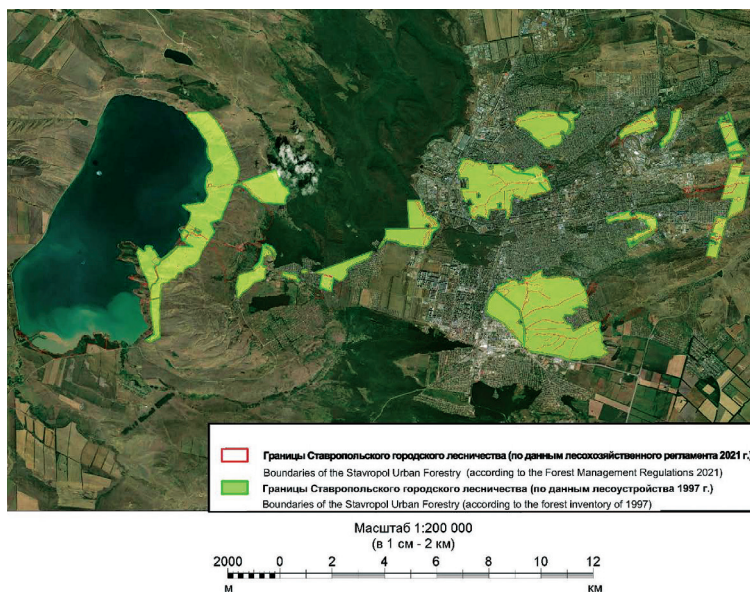


Рис. 2. Обзорная карта Ставропольского городского лесничества с указанием границ лесничества, по данным лесоустройства 1997 г. и лесохозяйственного регламента 2021 г.

Fig. 2. Overview map of the Stavropol urban forestry, indicating the boundaries of forestry according to the forest management of 1997 and forestry regulations 2021

Согласно данным лесохозяйственных регламентов, участки Ставропольского городского лесничества объединены в лесные урочища по принципу взаимного пространственного расположения (табл. 2).

Согласно данным, представленным в табл. 2, площадь Ставропольского городского лесничества с 2013 по 2021 г. увеличилась на 1483,3 га (38 %). Такое изменение обусловлено включением в его состав краевого заказника «Вишневая поляна» площадью 72,6 га, урочища «Бибердова дача» площадью 7,82 га и краевого заказника «Приозерный» площадью 1389,4 га. Кроме того, увеличилась площадь и изменились границы урочищ «Мамайская лесная дача» — на 10,33 га (1,1 %), «Русская Лесная Дача» — на 2,4 га (0,9 %), «Таманская лесная дача» — на 0,3 га (0,1 %), «Мутнянка» — на 0,5 га (1 %) и «Надежда» — на 0,5 га (0,2 %). Такое увеличение площади, покрытой лесной растительностью, произошло в результате естественной восстановительно-возрастной динамики лесов, выполнения мер содействия естественному возобновлению [23, 24], создания лесных культур и перевода молодняков в покрытые лесом площади. Площадь урочищ «Члинский лес», «Ташлянский склон», «За бойней» и «Сенгилеевское озеро» не изменилась.

Отдельно были рассмотрены земли, входившие ранее в территорию Ставропольского лесхоза и, согласно материалам лесоустройства 1997 г., вошли (сохранились) в границы современного городского лесничества (рис. 2).

На основании лесохозяйственного регламента 2021 г. в состав городских лесов вошли 54 лесных квартала: 1–40, 56, 61, 63, 72–81, 85 — общей площадью 3374 га (табл. 3).

Согласно рис. 2 и данным, полученным в результате анализа проекта лесоустройства 1997 г. и лесохозяйственного регламента 2021 г., можно отметить увеличение общей площади Ставропольского городского лесничества. Однако детальный анализ каждого урочища показал, что границы лесничеств изменились с 1997 г. по 2021 г., так как присутствуют участки, включенные в границы лесничеств и исключенные из него.

Наибольшие потери земель лесного фонда произошли в урочище «Мутнянка», «Русская Лесная дача», «Надежда» и краевых заказниках «Вишневая поляна» и «Приозерный».

В границы урочища «Мутнянка» не вошло 26,61 га земель лесного фонда, или 59,26 % общей площади урочища на момент 1997 г. (рис. 3). Согласно сведениям Единого государственного реестра недвижимости (ЕГРН), исключенные земельные участки используются в настоящее время под жилую застройку.

Аналогичная ситуация произошла и с урочищами «Русская Лесная дача» и «Надежда». Их площадь уменьшилась соответственно на 51,98 и 44,0 га, или на 21,31 и 21,08 % (рис. 4, 5).

Границы краевых заказников «Вишневая поляна» и «Приозерный» были изменены за счет соответственно исключения 20,55 га (30,46 %) и 176,27 га (24,04 %) земель лесного фонда (рис. 6, 7).

**Урочища Ставропольского городского лесничества
и динамика изменения их площадей с 1997 по 2021 гг.**

Stavropol urban forestry stows and the dynamics of changes in their areas from 1997 to 2021

Наименование урочища	Площадь на 2021 г., га	Площадь на 1997 г., га	Кварталы лесного фонда, вошедшие лесничество	Потери земель лесного фонда,	
				га	%
«Мамайская лесная дача»	954,43	910,32	22–40	44,07	4,84
«Русская лесная дача»	262,3	243,96	56, 61, 63	51,98	21,31
«Таманская лесная дача»	441,8	436,27	5–12	43,08	9,87
«Члинский лес»	196,2	193,4	1–4	7,49	3,87
«Ташлянский склон»	72,7	58,82	19	8,38	14,25
«За бойней»	39,2	29,95	20	4,13	13,79
«Мутнянка»	48,1	44,57	21	26,41	59,26
«Надежда»	279,4	208,76	13–18	44,00	21,08
«Сенгилеевское озеро»	174,8	44,44	81	3,39	7,63
Краевой заказник «Вишневая поляна»	72,6	67,47	85	20,55	30,46
«Бибердова дача»	7,82	Лесные кварталы отсутствуют	Лесные кварталы отсутствуют	Лесные кварталы отсутствуют	Лесные кварталы отсутствуют
Краевой заказник «Приозерный»	1389,4	733,25	72–80	176,27	24,04

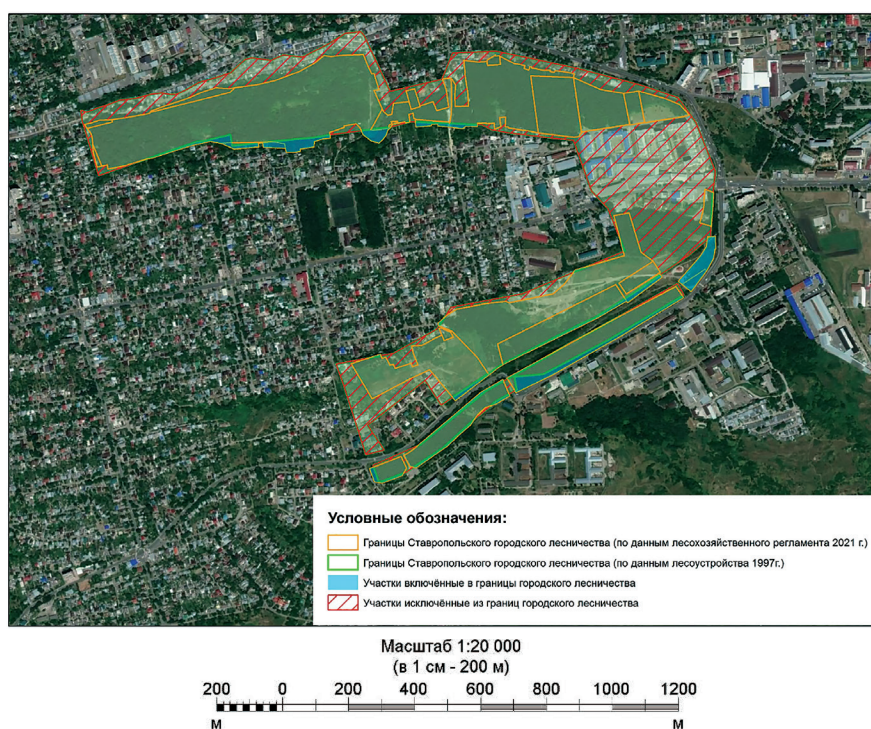


Рис. 3. Изменение границ урочища «Мутнянка» (Источник: <https://www.stav.kp.ru/daily/28337/4482267/>)
Fig. 3. Changing the boundaries of the tract «Mutnyanka» (Source: <https://www.stav.kp.ru/daily/28337/4482267/>)

Однако исходя из сведений ЕГРН, 142,7 га исключенных земель из краевого заказника «Приозерный» являются, по документу, также природным заказником с видом разрешенного использования «Под иными объектами специального назначения».

Границы остальных урочищ претерпели меньшие изменения. Так, по состоянию на 2021 г., по-

тери земель лесного фонда урочища «Мамайская лесная дача» составили 44,07 га (4,84 % общей площади урочища), «Таманская лесная дача» — 43,08 га (9,87 %), «Члинский лес» — 7,49 га (3,87 %), «Ташлянский склон» 8,38 га (14,25 %), «За бойней» — 4,13 га (13,79 %), «Сенгилеевское озеро» — 3,39 га (7,63 %) (рис. 8–10).

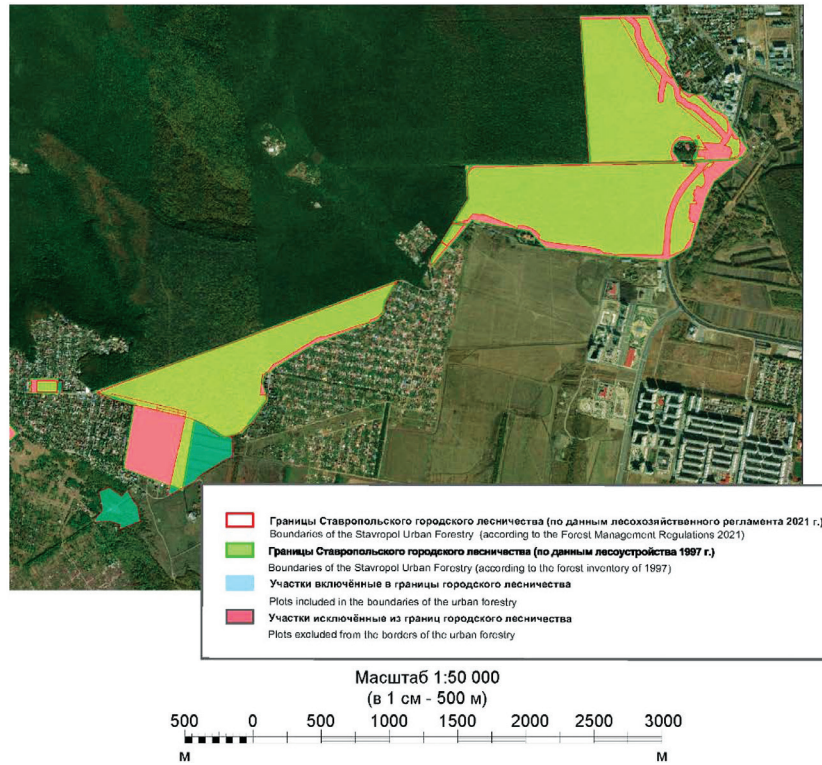


Рис. 4. Изменение границ урочища «Русская Лесная дача»
Fig. 4. Changing the boundaries of the tract « Russian forest dacha»

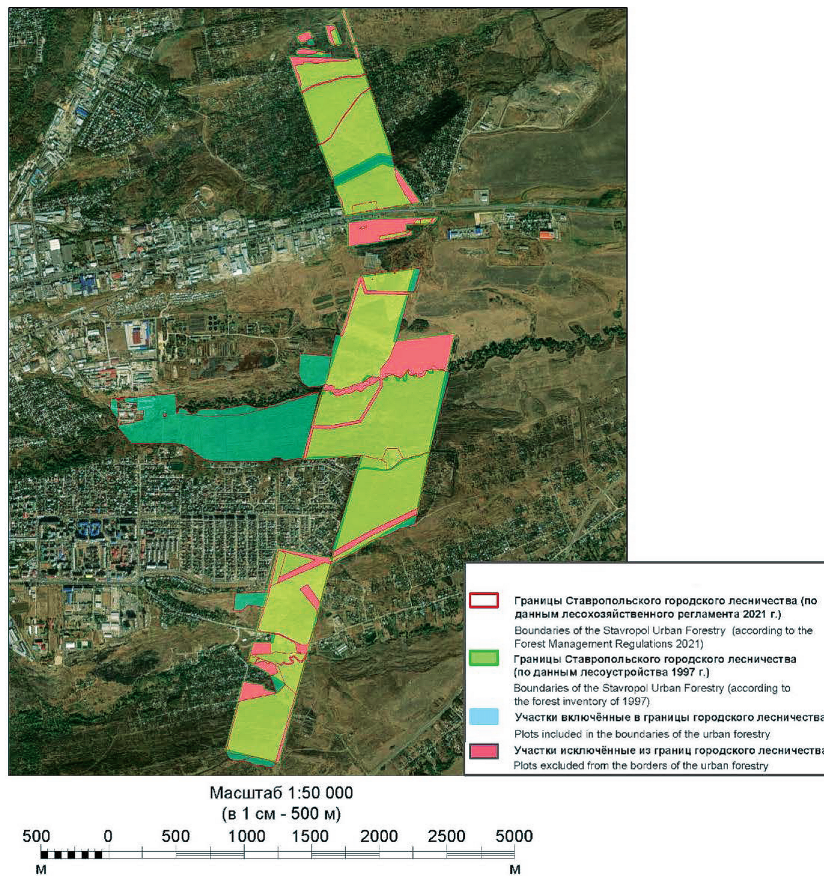


Рис. 5. Изменение границ урочища «Надежда»
Fig. 5. Changing the boundaries of the «Nadezhda» stow

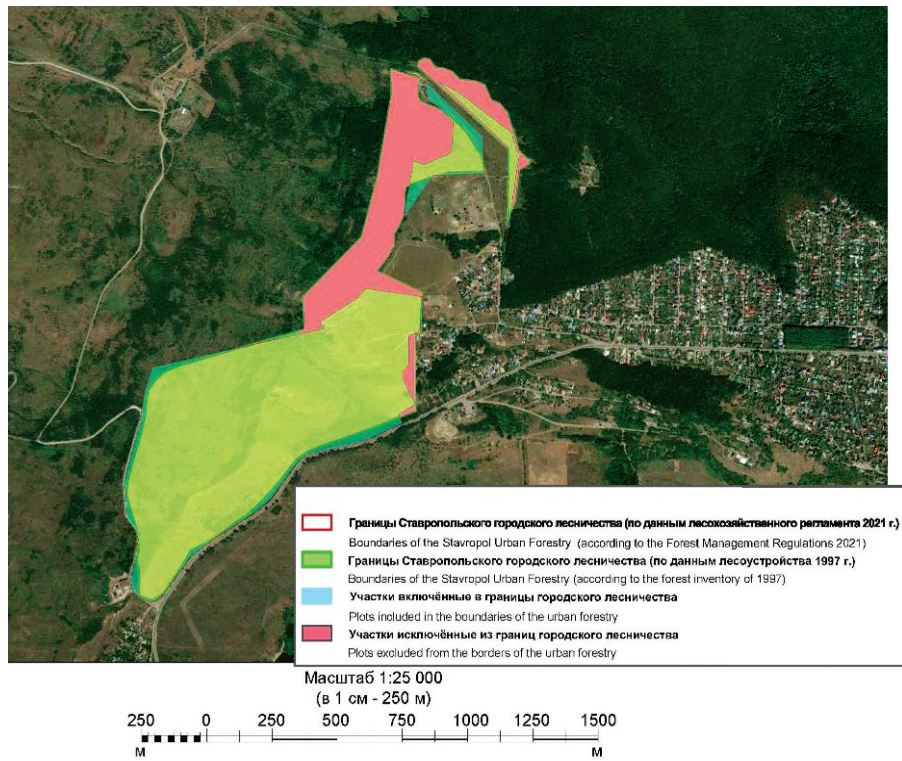


Рис. 6. Изменение границ урочища краевого заказника «Вишневая поляна»
Fig. 6. Changing the boundaries of the regional reserve «Cherry Glade» stow

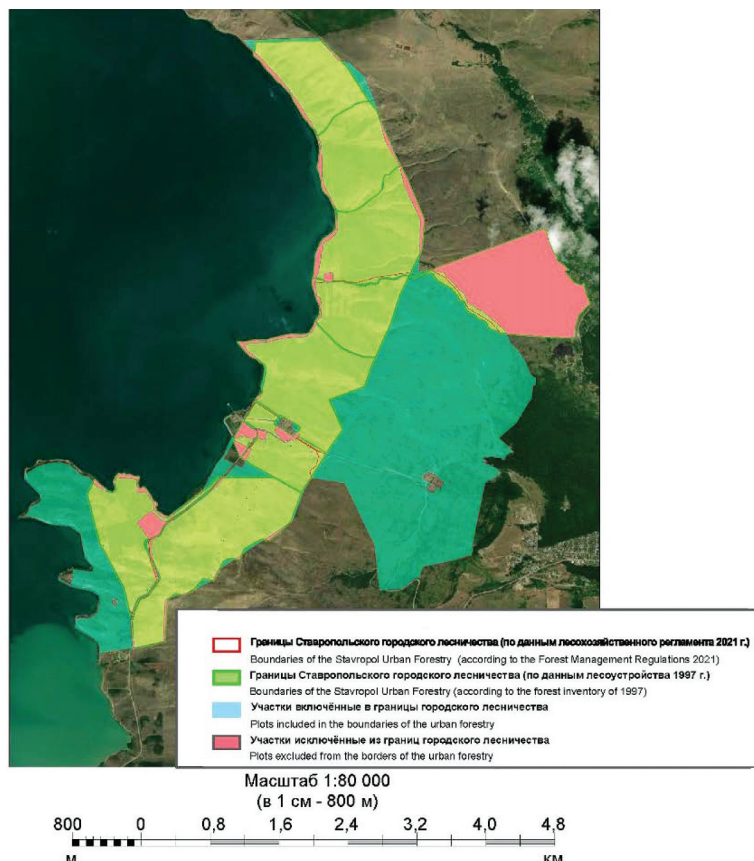


Рис. 7. Изменение границ урочища краевого заказника «Приозерный»
Fig. 7. Changing the boundaries of the regional reserve «Priozernny» stow

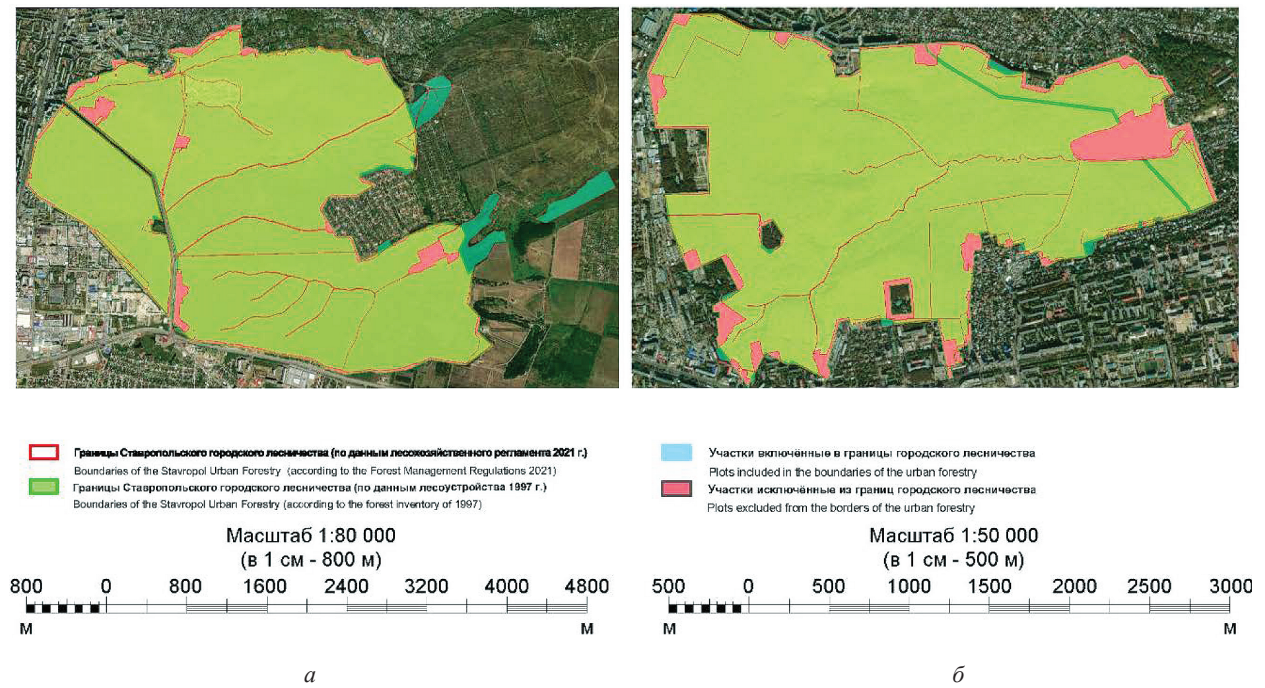


Рис. 8. Изменение границ урочищ «Мамайская лесная дача» (а), «Таманская лесная дача» (б)
Fig. 8. Changing the boundaries of «Mamayskaya lesnaya dacha» stows (a), «Tamanskaya lesnaya dacha» (b)



Рис. 9. Изменения границ урочищ «Члинский Лес» (а), «Ташлянский склон» (б)
Fig. 9. Changing the boundaries of «Chlinsky forest» (a), «Tashlyansky slope» (b) stows

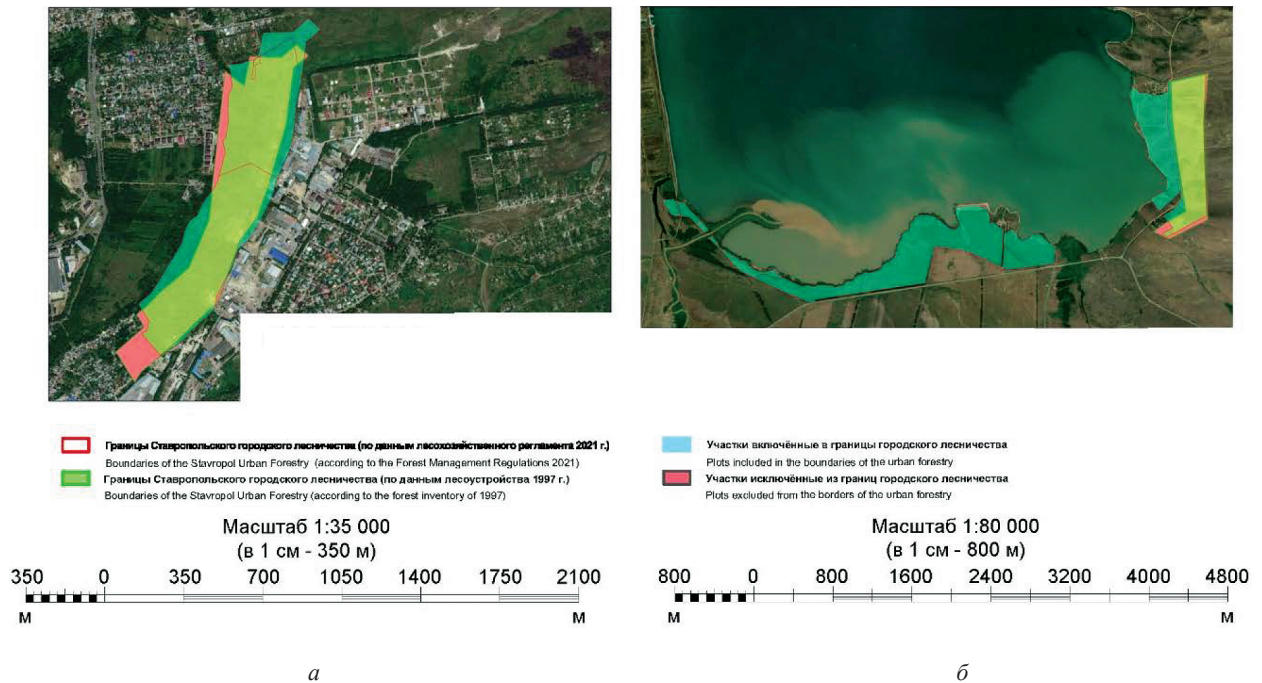


Рис. 10. Изменение границ урочищ «За бойней» (а), «Сенгилеевское озеро» (б)
Fig. 10. Changing the boundaries of «Za bojnei» (a), «Sengileey lake» (b) stows

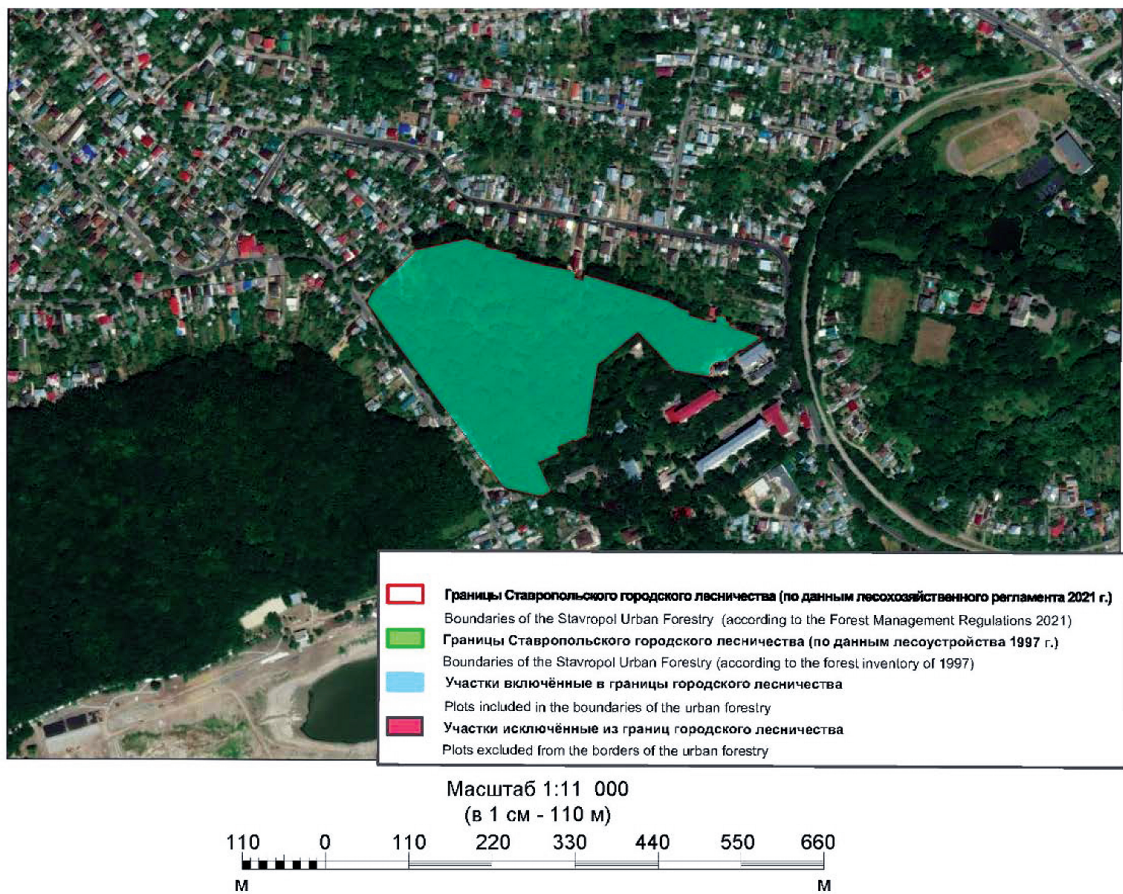


Рис. 11. Изменение границ урочища «Бибердова дача»
Fig. 11. Changing the boundaries of the «Biberdova Dacha» stow

Исключением является урочище «Бибердова дача», границы которого со временем не изменились (рис. 11).

Выводы

Представленный графический материал является авторским. Подготовлен с использованием средств геоинформационного анализа в целях визуальной оценки изменения границ Ставропольского городского лесничества [25–28].

В ходе ретроспективного анализа было выявлено, что на основании данных лесохозяйственного регламента за 2013 год и 2021 год, площадь лесничеств увеличилась на 1483,8 га. Однако детальный анализ текстовых и картографических данных лесоустройства за 1997 г. и лесохозяйственного регламента за 2021 г. показал, что площадь земель лесного фонда уменьшилась. Причиной этому послужило увеличение численности населения, повышение рекреационной нагрузки на леса, ухудшение санитарного состояния лесничества и влияние иных климатических факторов на лесной фонд в целом. Были исключены в основном лесопокрытые территории в городе Ставрополе, а расширение Ставропольского городского лесничества произошло преимущественно благодаря присоединению степных ландшафтов.

Благодарности

Исследование проводилось с использованием оборудования Научно-исследовательского центра пищевых и химических технологий КубГТУ (СКР_3111), разработка которого поддерживается Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (Соглашение № 075-15-2021-679)

Список литературы

[1] Гаврилова Е.К. Мониторинг категории земель лесного фонда Ставропольского края // Аграрная наука, творчество, рост : сборник научных трудов по материалам IX Междунар. науч.-практ. конф., Ставрополь, 05–08 февраля 2019 года. Ставрополь: Секвойя, 2019. С. 75–79.

[2] Липилин Д.А., Волкова Т.А., Мищенко А.А., Миненкова В.В. Оценка рекреационного потенциала ООПТ Западного Кавказа с помощью методов космосъемок (на примере Туапсинского района) // Глобальный научный потенциал, 2015. № 9(54). С. 90–97.

[3] Бешенцев А.Н., Куклина Е.Э., Калашников К.И., Балданов Н.Д. Мониторинг урбанизированной территории: методы, технологии, результаты // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий), 2020. Т. 25. № 2. С. 169–182. DOI 10.33764/2411-1759-2020-25-2-169-182

[4] Папышева А.В., Мизгирева А.В. Структура лесного фонда Няганьского городского лесничества // Инновации в науке, 2015. № 48. С. 60–66.

[5] Гура Д.А. Оценка комфортности биоклиматических условий Краснодарского края с применением ГИС-технологий // Юг России: экология, развитие, 2020. Т. 15. № 3(56). С. 66–76. DOI 10.18470/1992-1098-2020-3-66-76

[6] Шабайкина В.А., Ларина А.В., Саулин В.А. Оценка состояния системы озеленения г. Рузаевка с использованием многозональных космических снимков // Вектор ГеоНаук, 2020. Т. 3. № 3. С. 96–105. DOI: 10.24411/2619-0761-2020-10036

[7] Bengston D.N., Peck J., Olson R. North American Forest Futures 2018–2090: Scenarios for Building a More Resilient Forest Sector // World Futures Review, 2018, v. 10, no. 2, pp. 152–169.

[8] Батвенкина Т.В. Динамика таксационных и ландшафтно-архитектурных показателей сосновых древостоев Зеленогорского лесничества Красноярского края // Вестник современных исследований, 2018. № 5.3(20). С. 305–307.

[9] Куклина Е.Э., Калашников К.И., Балданов Н.Д., Бешенцев А.Н. Геоинформационная оценка и картографирование динамики урбанизированной территории г. Улан-Удэ // ИВУЗ Северо-Кавказский регион. Сер. Естественные науки, 2020. № 3(207). С. 44–50. DOI: 10.18522/1026-2237-2020-3-44-50

[10] Седловский А.К. К вопросу об установлении границ лесничеств и лесопарков // Московский экономический журнал, 2018. № 5–3. С. 13. DOI: 10.24411/2413-046X-2018-15093

[11] Rout S. Sustaining Southeast Asia's Forests: Community, Institution and Forest Governance in Thailand // Millennial Asia, 2018, v. 9, no. 2, pp. 140–161.

[12] Vinceti B., Valette M., Bougma A.L., Turillazzi A. How is forest landscape restoration being implemented in Burkina faso? Overview of ongoing initiatives. Sustainability // Croatian J. of Forest Engineering, 2020, no 12(24), pp. 1–16.

[13] Архипов Ю.П., Архипова К.Э. Использование данных дистанционного зондирования земли для эколого-экономического анализа состояния лесного фонда Шолоховского района Ростовской области // Экология. Экономика. Информатика. Сер. Геоинформационные технологии и космический мониторинг, 2021. Т. 2. № 6. С. 42–45. DOI 10.23885/2500-123X-2021-2-6-42-45

[14] Черных А.И., Годовалов Г.А. Информационные технологии в лесном хозяйстве // Успехи современного естествознания, 2018. № 10. С. 85–89.

[15] Погорелов А.В., Липилин Д.А., Лубенцова А.А. Оценка многолетних изменений зеленых насаждений города Краснодара по данным спутниковых снимков // Региональные географические исследования. Краснодар: Изд-во Кубанского государственного университета, 2017. С. 119–137.

[16] Рахматуллина И.Р., Рахматуллин З.З., Кулагин А.Ю. Дистанционный мониторинг зеленых насаждений Уфы за 1988–2018 годы // Вестник Российского университета дружбы народов. Сер. Экология и безопасность жизнедеятельности, 2020. Т. 28. № 3. С. 263–274. DOI: 10.22363/2313-2310-2020-28-3-263-274

[17] Каширина Е.С., Новиков А.А., Голубева Е.И., Новикова А.М. Оценка уровня озеленения г. Севастополя по данным дистанционного зондирования земли // Системы контроля окружающей среды, 2020. № 2(40). С. 108–116.

[18] Погорелов А.В. Опыт дешифрирования земель разного хозяйственного назначения на территории Краснодарского края по материалам космической съемки // Известия Кубанского государственного университета. Естественные науки, 2013. № 1. С. 92–99.

- [19] Мартынова М.В. Оценка трансформации городских лесов с использованием ГИС-технологий // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова, 2021. № 1(62). С. 131–137. DOI: 10.34655/bgsha.2021.62.1.019
- [20] Погорелов А.В., Киселев Е.Н. Дистанционное зондирование – источник данных об урбогеосистеме (Краснодар) // Современные проблемы и перспективы развития земельно-имущественных отношений: сб. ст. по материалам II Всерос. науч.-практ. конф., Краснодар, 24 апреля 2020 года / отв. за выпуск Е.В. Яроцкая. Краснодар: Изд-во Кубанского государственного аграрного университета имени И.Т. Трубилина, 2020. С. 635–639.
- [21] Van Herzele A. A Forest for Each City and Town: Story Lines in the Policy Debate for Urban Forests in Flanders // Urban Studies, v. 43, no. 3, pp. 673–696.
- [22] Коржов В.Л., Часковский О.Г. Методологические аспекты создания геоинформационной системы лесных автодорог // Наукові праці Лісівничої академії наук України, 2017. № 14. С. 259–264.
- [23] Kuzyakina M.V., Gura D.A., Sekisov A.N., Granik N.V. Assessment of Potential Forest Biomass Resource on the Basis of Data of Air Laser Scanning // Advances in Intelligent Systems and Computing, 2019, v. 983, pp. 403–416. DOI: 10.1007/978-3-030-19868-8_41
- [24] Yan F., Hu X., Xu L., Wu Y. Construction and Accuracy Analysis of a BDS/GPS-Integrated Positioning Algorithm for Forests // Croatian J. of Forest Engineering, 2021, v. 42, no. 2, pp. 19. DOI: 10.5552/crojfe.2021.1105
- [25] Егоров К.П., Филимонова Ю.Г. Анализ лесного покрова на основе открытых данных дистанционного зондирования земли на примере Таежинского лесничества Красноярского края // Актуальные вопросы в лесном хозяйстве: Материалы III Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых, Санкт-Петербург, 06–08 ноября 2019 года. Санкт-Петербург: Полиграф-Экспресс, 2019. С. 157–160.
- [26] Chyi-Rong Chiou, Jiunn-Cheng Lin, Wan-Yu Liu, Tsung-Wei Lin. Assessing the recreational value of protective forests at Taitung Forest Park in Taiwan // Tourism Economics, v. 22, no. 5, pp. 1132–1140.
- [27] Gura D.A., Dubenko Yu.V., Dyshkant E., Pavlyukova A., Akopyan G. 3D laser scanning for monitoring the quality of surface in agricultural sector // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 12th International Scientific Conference on Agricultural Machinery Industry, Interagromash 2019, Rostov-on-Don, 10–13 September 2019. UK: Institute of Physics Publishing, 2019, p. 012184.
- [28] Efimov, O., Gura, D., Makar, S., Mustafin, R., 2022: Potential for carbon sequestration and the actual forest structure: The case of Krasnodar Krai in Russia. Central European Forestry Journal, 2022, 68(1), p. 15–22

Сведения об авторах

Липилин Дмитрий Александрович — канд. геогр. наук, доцент кафедры землеустройства и земельного кадастра, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», старший преподаватель кафедры геоинформатики, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет», lipilin_dmitrii@mail.ru

Гура Дмитрий Андреевич — канд. техн. наук, доцент кафедры геодезии ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», доцент кафедры кадастра и геоинженерии, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», gda-kuban@mail.ru

Яроцкая Елена Вадимовна — канд. экон. наук, доцент кафедры землеустройства и земельного кадастра ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», yarockaya_ev@mail.ru

Науменко Надежда Олеговна✉ — магистр, институт «Строительства и транспортной инфраструктуры», факультет «Землеустройство и кадастры», кафедра «Кадастра и геоинженерии», ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», naumenko.nadyusha@mail.ru

Поступила в редакцию 13.04.2022.

Одобрено после рецензирования 11.07.2022.

Принята к публикации 15.08.2022.

GEOINFORMATION ANALYSIS OF CHANGES IN STAVROPOL URBAN FORESTRY BORDERS

D.A. Lipilin^{1,2}, D.A. Gura^{1,3}, E.V. Yarotskaya¹, N.O. Naumenko³✉

¹«Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin», 13, Kalinin st., 350044, Krasnodar, Krasnodar Territory, Russia

²«Kuban State University», 149, Stavropol st., 350040, Krasnodar, Krasnodar Territory, Russia

³«Kuban State Technological University», 2, Moskovskaya st., 350072, Krasnodar, Krasnodar Territory, Russia

naumenko.nadyusha@mail.ru

A study was carried out by comparing the spatial data of the project for the organization and management in the Stavropol forestry enterprise. The total area of the Stavropol urban forestry from 1997 to 2021 increased by 564,7 hectares due to the addition of a steppe landscape territory. It was established that 429,75 hectares of forested areas were excluded from forestry. Based on the information from the Unified State Register of Real Estate, the areas that were excluded from the forestry are currently used for residential development. Satellite images show the boundaries of the territories of the stows in 1997 and 2021, marked with different colors of the territory excluded from the total area of forest areas, as well as added areas. The comparative analysis of data for 1997, 2013 and 2021 allows us to identify all the changes in the qualitative and quantitative aspects. In accordance with the results of the study, during the study period, there is a positive trend in the increase in the area of the Stavropol urban forestry. However, it has been established that, based on the results of a detailed analysis of changes in the area of natural boundaries and regional reserves, the area of forest lands that are part of the forestry has decreased. The analysis of the factors that had a negative impact on the forest fund was carried out.

Keywords: geoinformation systems, satellite monitoring, forest fund, forestry, forest management, forest management regulations, specially protected natural areas

Suggested citation: Lipilin D.A., Gura D.A., Yarotskaya E.V., Naumenko N.O. *Geoinformatsionnyy analiz izmeneniya granits Stavropol'skogo gorodskogo lesnichestva* [Geoinformation analysis of changes in Stavropol urban forestry borders]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 5, pp. 40–53.

DOI: 10.18698/2542-1468-2022-5-40-53

Reference

- [1] Gavrilova E.K. *Monitoring kategorii zemel' lesnogo fonda Stavropol'skogo kraja* [Monitoring of the category of lands of the forest fund of Stavropol Krai.]. *Agrarnaya nauka, tvorchestvo, rost : sbornik nauchnykh trudov po materialam IKh Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Collection of scientific papers on the materials of the IX International Scientific-Practical Conference «Agrarian Science, Creativity, Growth»]. Stavropol, 05–08 February, 2019. Stavropol: Sekvoyya, 2019, pp. 75–79.
- [2] Lipilin D.A., Volkova T.A., Mishchenko A.A., Minenkova V.V. *Otsenka rekreatsionnogo potentsiala OOPT Zapadnogo Kavkaza s pomoshch'yu metodov kosmos'emok (na primere Tuapsinskogo rayona)* [Assessment of the recreational potential of protected areas of the Western Caucasus using methods of space surveys (on the example of the Tuapse district)]. *Global'nyy nauchnyy potentsial* [Global scientific potential], 2015, no. 9(54), pp. 90–97.
- [3] Beshentsev A.N., Kuklina E.E., Kalashnikov K.I., Baldanov N.D. *Monitoring urbanizirovannoy territorii: metody, tekhnologii, rezul'taty* [Monitoring of urbanized territory: methods, technologies, results]. *Vestnik SGUGiT (Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta geosistem i tekhnologiy)* [Bulletin of SGUGiT (Siberian State University of Geosystems and Technologies)], 2020, v. 25, no. 2, pp. 169–182. DOI: 10.33764/2411-1759-2020-25-2-169-182
- [4] Papyшева A.V., Mizgireva A.V. *Struktura lesnogo fonda Nyagan'skogo gorodskogo lesnichestva* [Structure of the forest fund of Nyagan city forestry]. *Innovatsii v nauke* [Innovations in science], 2015, no. 48, pp. 60–66.
- [5] Gura D.A. *Otsenka komfortnosti bioklimaticheskikh usloviy Krasnodarskogo kraja s primeneniem GIS-tekhnologiy* [Assessment of comfort bioclimatic conditions of Krasnodar Krai using GIS-technologies]. *Yug Rossii: ekologiya, razvitiye* [South of Russia: Ecology, Development], 2020, v. 15, no. 3(56), pp. 66–76. DOI: 10.18470/1992-1098-2020-3-66-76
- [6] Shabaykina V.A., Larina A.V., Saulin V.A. *Otsenka sostoyaniya sistemy ozeleneniya g. Ruzaevka s ispol'zovaniem mnogozonal'nykh kosmicheskikh snimkov* [Assessment of the state of the greening system of Ruzaevka using multi-zone satellite images]. *Vektor GeoNauk* [Vector Geosciences], 2020, v. 3, no. 3, pp. 96–105. DOI: 10.24411/2619-0761-2020-10036
- [7] Bengston D.N., Peck J., Olson R. *North American Forest Futures 2018–2090: Scenarios for Building a More Resilient Forest Sector*. *World Futures Review*, 2018, v. 10, no. 2, pp. 152–169.
- [8] Batvenkina T.V. *Dinamika taksatsionnykh i landshafino-arkhitekturnykh pokazateley sosnovykh drevostoev Zelenogorskogo lesnichestva Krasnoyarskogo kraja* [Dynamics of taxation and landscape-architectural indicators of pine stands of the Zelenogorsky forestry of the Krasnoyarsk Territory]. *Vestnik sovremennykh issledovaniy* [Bulletin of Modern Research], 2018, no. 5.3(20), pp. 305–307.
- [9] Kuklina E.E., Kalashnikov K.I., Baldanov N.D., Beshentsev A.N. *Geoinformatsionnaya otsenka i kartografirovaniye dinamiki urbanizirovannoy territorii g. Ulan-Ude* [Geoinformation assessment and mapping of the dynamics of the urbanized territory of Ulan-Ude]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Severo-Kavkazskiy region. Seriya: Estestvennye nauki* [Izvestia of higher educational institutions. The North Caucasus region. Series: Natural Sciences], 2020, no. 3(207), pp. 44–50. DOI: 10.18522/1026-2237-2020-3-44-50
- [10] Sedlovskiy A.K. *K voprosu ob ustanovlenii granits lesnichestv i lesoparkov* [On the issue of establishing the boundaries of forestry and forest parks]. *Moskovskiy ekonomicheskyy zhurnal* [Moscow Economic Journal], 2018, no. 5–3, pp. 13. DOI: 10.24411/2413-046X-2018-15093

- [11] Rout S. Sustaining Southeast Asia's Forests: Community, Institution and Forest Governance in Thailand. *Millennial Asia*, 2018, v. 9, no. 2, pp. 140–161.
- [12] Vinceti B., Valette M., Bougma A.L., Turillazzi A. How is forest landscape restoration being implemented in Burkina faso? Overview of ongoing initiatives. Sustainability. *Croatian J. of Forest Engineering*, 2020, no 12(24), pp. 1–16.
- [13] Arkhipov Yu.P., Arkhipova K.E. *Ispol'zovanie dannykh distantsionnogo zondirovaniya zemli dlya ekologo-ekonomicheskogo analiza sostoyaniya lesnogo fonda Sholokhovskogo rayona Rostovskoy oblasti* [Using Earth remote sensing data for ecological and economic analysis of the state of the forest fund of the Sholokhovsky district of the Rostov region]. *Ekologiya. Ekonomika. Informatika. Seriya: Geoinformatsionnye tekhnologii i kosmicheskiy monitoring* [Ecology. Economy. Computer science. Series: Geoinformation technologies and space monitoring], 2021, v. 2, no 6, pp. 42–45. DOI: 10.23885/2500-123X-2021-2-6-42-45
- [14] Chermnykh A.I., Godovalov G.A. *Informatsionnye tekhnologii v lesnom khozyaystve* [Information technologies in forestry]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Successes of modern natural science], 2018, no. 10, pp. 85–89.
- [15] Pogorelov A.V., Lipilin D.A., Lubentsova A.A. *Otsenka mnogoletnikh izmeneniy zelenykh nasazhdeniy goroda Krasnodara po dannym sputnikovyykh snimkov* [Assessment of long-term changes in the green spaces of the city of Krasnodar according to satellite images]. *Regional'nye geograficheskie issledovaniya* [Regional Geographical Studies]. Krasnodar: Kuban State University, 2017, pp. 119–137.
- [16] Rakhmatullina I.R., Rakhmatullin Z.Z., Kulagin A.Yu. *Distantsionnyy monitoring zelenykh nasazhdeniy Ufy za 1988–2018 gody* [Remote monitoring of Ufa green spaces for 1988–2018]. *Vestnik Rossiyskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Ekologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti* [Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. Series: Ecology and life safety], 2020, v. 28, no. 3, pp. 263–274. DOI: 10.22363/2313-2310-2020-28-3-263-274
- [17] Kashirina E.S., Novikov A.A., Golubeva E.I., Novikova A.M. *Otsenka urovnya ozeleneniya g. Sevastopolya po dannym distantsionnogo zondirovaniya zemli* [Assessment of the greening level of Sevastopol according to the data of remote sensing of the Earth]. *Sistemy kontrolya okruzhayushchey sredy* [Environmental monitoring systems], 2020, no. 2(40), pp. 108–116. DOI: 10.33075/2220-5861-2020-2-108-116
- [18] Pogorelov A.V. *Opyt deshifirovaniya zemel' raznogo khozyaystvennogo naznacheniya na territorii Krasnodarskogo kraya po materialam kosmicheskoy s'emki* [The experience of deciphering lands of various economic purposes on the territory of the Krasnodar Territory based on space survey materials]. *Izvestiya Kubanskogo gosudarstvennogo universiteta. Estestvennye nauki* [Izvestiya Kuban State University. Natural sciences], 2013, no 1, pp. 92–99.
- [19] Martynova M.V. *Otsenka transformatsii gorodskikh lesov s ispol'zovaniem GIS-tekhnologiy* [Assessment of urban forest transformation using GIS-technologies]. *Vestnik Buryatskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii im. V.R. Filippova* [Bulletin of the Buryat State Agricultural Academy named after V.R. Filippov], 2021, no. 1(62), pp. 131–137. DOI: 10.34655/bgsha.2021.62.1.019
- [20] Pogorelov A.V., Kiselev E.N. *Distantsionnoe zondirovanie — istochnik dannykh ob urbogeosisteme (Krasnodar)* [Remote sensing — a source of data on the urban geosystem (Krasnodar)]. *Sovremennyye problemy i perspektivy razvitiya zemel'no-imushchestvennykh otnosheniy: sbornik statey po materialam II Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Modern problems and prospects for the development of land and property relations: A collection of articles based on the materials of the II All-Russian Scientific and Practical Conference, Krasnodar, April 24, 2020]. Ed. for the issue of E.V. Yarotskaya. Krasnodar: Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, 2020, pp. 635–639.
- [21] Van Herzele A. A Forest for Each City and Town: Story Lines in the Policy Debate for Urban Forests in Flanders. *Urban Studies*, v. 43, no. 3, pp. 673–696.
- [22] Korzhov V.L., Chaskovskiy O.G. *Metodologicheskie aspekty sozdaniya geoinformatsionnoy sistemy lesnykh avtodorog* [Methodological aspects of creating a Geoinformation system of forest roads]. *Naukovi pratsi Lisivnichoi akademii nauk Ukraini* [Scientific works of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine], 2017, no. 14, pp. 259–264.
- [23] Kuzyakina M.V., Gura D.A., Sekisov A.N., Granik N.V. Assessment of Potential Forest Biomass Resource on the Basis of Data of Air Laser Scanning. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2019, v. 983, pp. 403–416. DOI: 10.1007/978-3-030-19868-8_41
- [24] Yan F., Hu X., Xu L., Wu Y. Construction and Accuracy Analysis of a BDS/GPS-Integrated Positioning Algorithm for Forests. *Croatian J. of Forest Engineering*, 2021, v. 42, no. 2, pp. 19. DOI: 10.5552/crojfe.2021.1105
- [25] Egorov K.P., Filimonova Yu.G. *Analiz lesnogo pokrova na osnove otkrytykh dannykh distantsionnogo zondirovaniya zemli na primere Tazhinskogo lesnichestva Krasnoyarskogo kraya* [Analysis of forest cover based on open data of remote sensing of the earth on the example of the Tazhinsky forestry of the Krasnoyarsk Territory]. *Aktual'nye voprosy v lesnom khozyaystve: Materialy III Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh* [Topical issues in forestry: Materials of the III International Scientific and Practical Conference of Young Scientists]. St. Petersburg, November 06–08, 2019. Saint Petersburg: Polygraph-Express, 2019, pp. 157–160.
- [26] Chyi-Rong Chiou, Jiunn-Cheng Lin, Wan-Yu Liu, Tsung-Wei Lin. Assessing the recreational value of protective forests at Taitung Forest Park in Taiwan. *Tourism Economics*, v. 22, no. 5, pp. 1132–1140.
- [27] Gura D.A., Dubenko Yu.V., Dyshkant E., Pavlyukova A., Akopyan G. 3D laser scanning for monitoring the quality of surface in agricultural sector. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 12th International Scientific Conference on Agricultural Machinery Industry, Interagromash 2019, Rostov-on-Don, 10–13 September 2019. UK: Institute of Physics Publishing, 2019, p. 012184.
- [28] Efimov, O., Gura, D., Makar, S., Mustafin, R., 2022: Potential for carbon sequestration and the actual forest structure: The case of Krasnodar Krai in Russia. *Central European Forestry Journal*, 2022, 68(1), p. 15–22.

Acknowledgments

The study was carried out using the equipment of the Research Center for Food and Chemical Technologies of KubGTU (CKP_3111), the development of which is supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Agreement No. 075-15-2021-679)

Authors' information

Lipilin Dmitry Aleksandrovich — Cand. Sci. (Geography), Associate Professor of the Department of Land Management and Land Cadastre, «Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin», Senior Lecturer of the Department of Geoinformatics, «Kuban State University», lipilin_dmitrii@mail.ru

Gura Dmitry Andreevich — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Department of Cadastre and Geoengineering, «Kuban State Technological University», Associate Professor of the Department of Geodesy, «Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin», gda-kuban@mail.ru

Yarotskaya Elena Vadimovna — Cand. Sci. (Economy), Associate Professor of the Department of Land Management and Land Cadastre of «Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin», yarockaya_ev@mail.ru

Naumenko Nadezhda Olegovna [✉] — Master graduand, Institute of Construction and Transport Infrastructure, Faculty of Land Management and Cadastre, Department of Cadastre and Geoengineering, «Kuban State Technological University», naumenko.nadyusha@mail.ru

Received 13.04.2022.

Approved after review 11.07.2022.

Accepted for publication 15.08.2022.

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

ИЗМЕНЕНИЯ СТРУКТУРЫ И БИОРАЗНООБРАЗИЯ ЛИСТВЕННИЧНЫХ ЛЕСОВ В ВЕРХНЕМ ТЕЧЕНИИ Р. ХИЛОК (БАССЕЙН ОЗ. БАЙКАЛ) ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ПОЖАРОВ

В.П. Макаров[✉], Т.В. Желибо, О.Ф. Малых, Е.А. Банщикова, Ю.В. Зима

ФГБУН «Институт природных ресурсов, экологии и криологии Сибирского отделения Российской академии наук»,
672014, г. Чита, ул. Недорезова, д. 16а

vm2853@mail.ru

Представлены результаты исследований изменения структуры и биоразнообразия лиственничных лесов в бассейне верхнего течения р. Хилок (правый приток р. Селенга) под воздействием климатических изменений и лесных пожаров в период с 1996 по 2018 гг. Установлено, что площадь сомкнутых лесов сократилась в среднем на 51 %, площадь гарей и горельников увеличилась на 46 %, ерников — на 12 %, естественное возобновление древесных пород на 90 % пробных площадей неудовлетворительное. Выявлено, что в результате пожаров в лесных сообществах уменьшается общее количество видов растений и лишайников, в растительных сообществах снижаются индексы концентрации видового богатства и биоразнообразия, происходит изменение соотношения числа видов широтно-географических групп (лесных, степных и луговых). Показано, что при дальнейшей аридизации климата увеличение площади ерниковых сообществ после пожаров может привести к замещению лесов на кустарниковые, а в дальнейшем и травянистые сообщества. Рекомендовано продолжить исследования по изменению структуры и биологического разнообразия растительных сообществ на выделенных модельных площадях в связи с увеличением в регионе количества весенне-летних осадков.

Ключевые слова: лиственничные леса, пожары, климат, биоразнообразие, Забайкалье

Ссылка для цитирования: Макаров В.П., Желибо Т.В., Малых О.Ф., Банщикова Е.А., Зима Ю.В. Изменения структуры и биоразнообразия лиственничных лесов в верхнем течении р. Хилок (бассейн оз. Байкал) под воздействием пожаров // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 5. С. 54–63.
DOI: 10.18698/2542-1468-2022-5-54-63

В связи с потеплением климата на планете, в Забайкалье, увеличением числа и площади лесных пожаров лесные экосистемы претерпевают изменения структуры древостоя, площади растительных сообществ, биологического разнообразия. Проведение исследований по прогнозированию тенденций изменений лесных экосистем и трансформации лесов имеет важное значение для планирования хозяйственной деятельности и мероприятий по рациональному использованию территории, необходимо для понимания экологических последствий для района проживания людей в аспекте изменения климатических условий, снижения водности рек и продуктивности биологических ресурсов.

На территории Забайкальского края в период 1999–2016 гг. наблюдалось максимальное количество, а также увеличение площадей лесных пожаров в частности в 2003, 2007, 2012, 2013 и 2015 гг. [1]. Количество пожаров составило от 432 в 2012 г. до 2440 в 2003 г., площади пожаров — в пределах от 23,6 тыс. га, в 1999 г. до 927,2 тыс. га, в 2003 г. [2].

Пожары в Забайкалье являются мощным экологическим фактором, определяющим возмож-

ность существования значительной части лесных экосистем, поскольку в случае дальнейшего потепления климата и возникновения повторных пожаров возможно преобразование части участков лесных земель в нелесные. Это проявляется в остепнении участков гарей в южных лесостепных районах и в нижних частях склонов южной экспозиции на границе со степными ландшафтами или их опустыревании в центральных районах края, а также заболачивании участков гарей на переувлажненных почвах [3]. Выявлено значительное увеличение площади лесных земель, характеризующихся I классом природной пожарной опасности после воздействия крупных пожаров [4].

На лиственничные насаждения, преобладающие в регионе, приходится основная доля нарушенных пожарами участков земель (в том числе наибольшая площадь, где процессы возобновления затруднены), в то время как сосновые и лиственные насаждения характеризуются большей частотой пожаров [5].

Реальные масштабы и частота воздействия антропогенно-пирогенного фактора на светлохвойные леса Забайкалья многократно превосходят естественную эволюционно обусловленную норму [6]. Интенсивные пожары в лиственничниках, произрастающих во влагообеспеченных районах

инициируют их смену насаждениями лиственных пород. На многолетней мерзлоте высока вероятность смены ерниками [7].

В 2013–2014 гг. на пробных площадях, заложенных на юго-восточных склонах Осинового хребта, расположенного в западной части Забайкальского края, на правом берегу верховья р. Хилок, установлено, что жизненное состояние лиственницы Гмелина характеризуется как ослабленное, количество здоровых деревьев не превышает 25...45%. Угнетение и отпад деревьев вызваны неоднократными повреждениями устойчивыми низовыми пожарами. Большинство деревьев лиственницы повреждено сердцевинными стволовыми гнилями [8].

Лесные пожары определили изменение лесных экосистем, их флористическое разнообразие. Произошло значительное снижение лесистости, площади длительно не горевших лесов, видового разнообразия, индексов концентрации видового богатства и редких видов, доли участия в растительном сообществе «лесных» видов, а также засорение растительных сообществ чужеродными видами на гарях [9].

Интенсивные низовые пожары в сосняках Забайкалья сопровождаются значительным выгоранием напочвенного покрова, на восстановление которого при известной суровости природных условий необходимо длительное время. Погибшие от пожаров насаждения смешанного состава восстанавливаются через длительную смену лиственными породами, преимущественно березой [10].

Островные березовые леса засушливых степных и примыкающих к ним лесостепных районов Забайкальского края являются местами резервации и очагами вспышек непарного шелкопряда, которые ослабляют, но редко приводят к полному усыханию насаждений [11]. При этом отчетливая приуроченность большинства отмирающих деревьев именно к границе лесных участков в лесостепи свидетельствует в пользу того, что летальным фактором для них выступает нарастание засушливости местообитаний, несомненно, связанное с региональной аридизацией климата [12].

Цель работы

Цель работы — установление изменений в структуре и флористическом разнообразии, произошедших в лиственничных лесах в бассейне верхнего течения р. Хилок в период с 1996 по 2018 гг.

Характеристика района исследований

Район исследований находится в верховьях бассейна р. Хилок — правого притока р. Селенга (крупнейшей реки, впадающей в оз. Байкал). Река Хилок протекает на территории Забайкальского края и Республики Бурятия.

Территория расположена в тектонической впадине забайкальского типа (Беклемишевская котловина) на абсолютных высотах от 942 до 1445 м н. у. м. Для большей части территории характерен среднегорный и плоскогорный рельеф. Склоны пологие, рельеф дна очень ровный [13].

Климатические условия в определенной степени обусловлены горным характером рельефа. Для района характерен высокий уровень солнечной радиации. Продолжительность безморозного периода составляет 67...69 сут, вегетационного периода — 150...155 сут. Сумма температур выше 10 °С — 1530 град. За год выпадает 350...380 мм осадков. Высота снежного покрова не превышает 10...15 см, на лесистых хребтах и увалах — 15...20 см, в отдельные годы достигает 47 см. Для района характерны сильные ветры в период с марта по май. Весной здесь наблюдаются ветры со скоростью до 20 м/с, в отдельные годы порывы ветра могут достигать 30...40 м/с [14].

На территории почвенный покров представлен следующими почвами:

- горно-подзолистыми и иллювиально-гумусово-железистыми на маломощных щебенистых отложениях (преимущественно в верхнем поясе хребтов — от 1200 м. н. у. м. и выше);
- мерзлотно-таежными (в лиственничных заболоченных лесах);
- серыми лесными (на северных склонах сопкок на подгорных участках котловин, в лиственничных лесах с подлеском из березы или ольхи);
- дерново-подзолистыми (в березовых и березово-лиственничных лесах);
- мерзлотными перегнойно-глеевыми и болотными с близким залеганием мерзлоты (по долинам);
- торфянисто-подзолистыми (на болотных ландшафтах дна котловины);
- черноземами, малогумусными и тяжелосуглинистыми по механическому составу, что осложняет их обработку (на лугах и прогалинах) [15].

Климатические условия способствуют распространению лиственничных лесов преимущественно из лиственницы Гмелина (*Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr.) Сосновые леса встречаются значительно реже лиственничных. Березовые леса распространены довольно редко и занимают небольшие по площади присклоновые участки Беклемишевской котловины. Кустарниковая растительность встречается по всей территории на пологих склонах, а также вдоль русел рек. На участках, прилегающих к озерам и руслам рек, распространена луговая и лугово-болотная растительность: осоковые, осоково-разнотравные и разнотравно-злаковые луга. Лугово-болотные сообщества при удалении от водоемов часто сменяются настоящими (мезофильные) лугами.

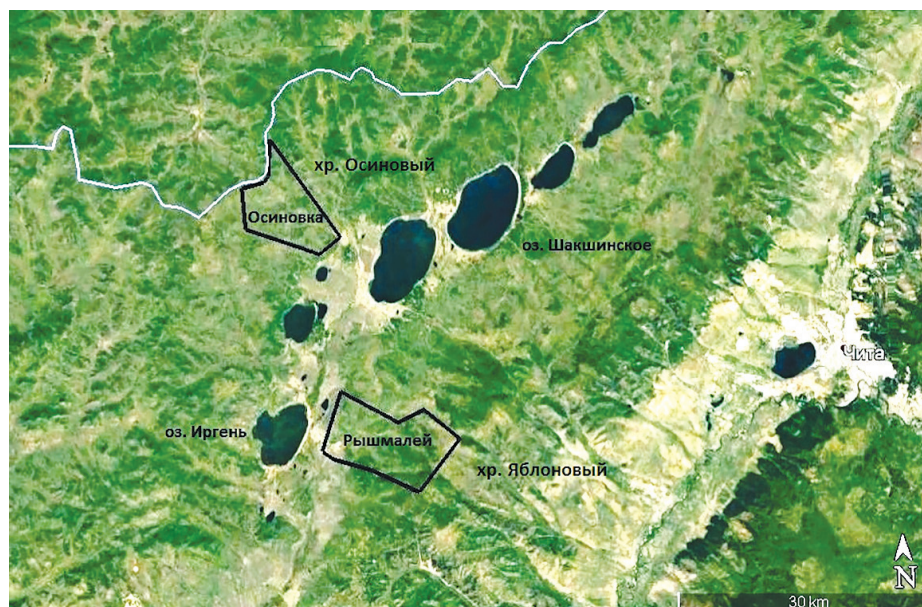


Рис. 1. Расположение модельных площадей
Fig. 1. Location of model areas

На территории распространены луговые (мезоксерофильные) степи; настоящие (ксерофильные) степи для данной территории не характерны.

Район исследований отличается значительной степенью биоразнообразия. Флора сосудистых наземных растений насчитывает 562 вида, относящиеся к 283 родам и 68 семействам. Из них в Список редких и исчезающих видов и подвидов растений Забайкальского края внесены 15 видов [16].

Методика исследований

Исследования лесов проведены на двух модельных участках лесного фонда Беклемишевского лесничества в июне и июле 2018 г. Одна из площадей была расположена на Осиновом хребте в бассейне р. Осиновка, и условно названа «Осиновка», другая площадь на Яблоновом хребте, в бассейне р. Рышмалей, условно названа «Рышмалей» (рис. 1).

Изменения лесных сообществ на выделенных модельных площадях исследовали путем анализа данных лесного фонда 1996 г. Беклемишевского лесничества, космических фотоснимков и наземных исследований.

По таксационным описаниям анализировали площадь, тип леса, его состав и возраст, средние высоту и диаметр ствола, полноту насаждений и дополнительную информацию специалистов лесничества о времени и площади лесных пожаров.

Наземные исследования проводились методом изучения площадей, заложенных в насаждениях, пройденных пожарами разного вида, формы и силы, а также на вырубках, пройденных пожарами, на участках гарей, повторно пройденных огнем. В качестве контрольных площадей

использовали длительно не горевшие участки леса. Основная форма пробных площадей — прямоугольная. Место закладки выбирали в части участка, однородного по таксационным показателям и условиям местопроизрастания. Размер пробной площади определяли исходя из наличия на ней не менее 200 деревьев основного элемента леса. На площадях фиксировали с помощью спутникового навигатора географические координаты местности, абсолютную высоту, экспозицию и крутизну склонов с помощью геологического компаса с эклиметром. Определяли сомкнутость крон древостоя, состав древесных пород, среднюю высоту и диаметр стволов деревьев, проективное покрытие кустарникового, травяного и напочвенного покрова, флористический состав растительного сообщества, включая мхи и лишайники, жизненное состояние древостоя [17]. Давность пожара уточняли по возрасту и состоянию подроста. Вид, форму и силу пожара устанавливали по состоянию древостоя, в том числе степени повреждения и усыхания кроны, высоте нагара на стволах, прогорания корки (коры) и корневых лап, а также степени прогорания напочвенного покрова, старых пней и валежника. Низовым пожаром слабой силы считали пожар, образовавший нагар высотой до 1,0 м, средним — от 1,1 до 2,0 м и сильным — более 2,0 м [18]. Силу устойчивых низовых пожаров определяли в соответствии с Инструкцией по определению ущерба, причиняемого лесными пожарами, утвержденной Федеральной службой лесного хозяйства России [19]. Состояние растительного покрова фиксировали также на фото. Всего было исследовано на модельных участках 102 пробные площади.

Для характеристики естественного возобновления древесных пород использовали шкалу глазомерного учета проективного покрытия жизнеспособного подроста [20]:

- площадь, покрытая подростом на 75...100 %, — хорошее возобновление;
- на 50...75 % — удовлетворительное;
- на 25...50 % — неудовлетворительное;
- на 15...25 % — плохое;
- менее 15 % — отсутствует.

Учитывали общее проективное покрытие подроста и отдельно, по древесным породам.

Для характеристики изменения биологического разнообразия использовали индекс концентрации видового богатства и индекс редких видов [21].

Выделяли в растительных сообществах широтно-географические комплексы видов растений по спискам комплексов видов, представленных в работе [22].

Результаты и обсуждение

По данным Забайкальского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (метеостанция с. Беклемишево) с середины XX в. усилилась континентальность климата, развившаяся в изменении тепло- и влагообеспеченности. С этого времени происходило потепление климата, проявляющееся в росте показателей температуры воздуха (рис. 2).

За вегетационный период (май — сентябрь) температура повысилась на 0,5 °С. За холодный период (октябрь — апрель) увеличение температуры составило 1,0 °С. Следовательно, повышение температуры воздуха происходило в основном за счет холодного периода.

На фоне потепления уменьшилась увлажненность территории, проявляющаяся в уменьшении количества атмосферных осадков. Распределение атмосферных осадков в течение года было крайне неравномерным. В холодный сезон их выпадало существенно меньше (около 10 %), чем в теплый (около 90 %). Средняя сумма осадков за год в рассматриваемом районе составляет 311 мм. Осадки выпадали главным образом в виде дождя, снега и града (рис. 3).

По данным учета лесного фонда (1996), средняя лесистость исследованных площадей составляет 85 % («Осиновка» — 75,1 и «Рышмалей» — 95,2 %): доминируют лиственные леса (68 %), есть березовые леса (18 %) и ерниковые сообщества (14 %); доля сосновых и осиновых лесов незначительная — менее 1 %.

На склонах Осинового хребта лиственные представлены преимущественно брусничным и разнотравным типами (56 %). В порядке снижения площади лесов выделялись также ли-

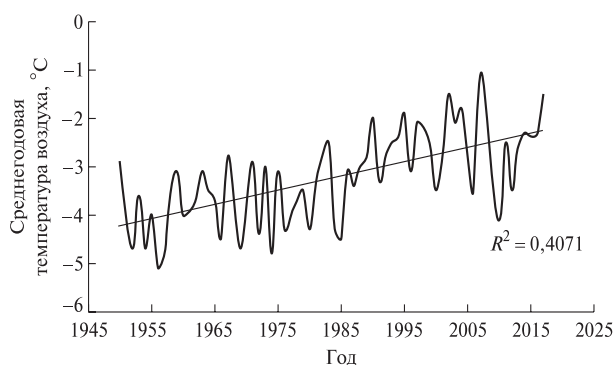


Рис. 2. Динамика и тенденции среднегодовой температуры воздуха (с. Белемишево)

Fig. 2. Dynamics and trends of average annual air temperature (Belemishevo village)

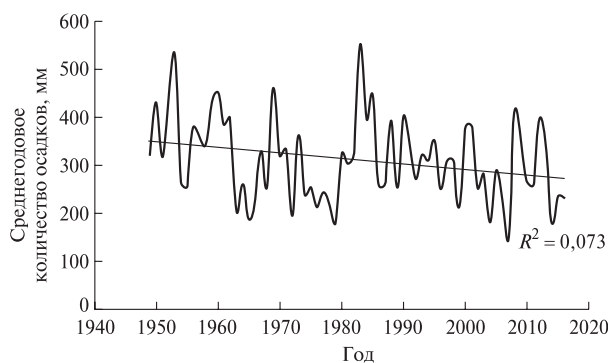


Рис. 3. Динамика и тенденции среднегодовой суммы осадков (с. Беклемишево)

Fig. 3. Dynamics and trends of the average annual precipitation (Beklemishevo village)

ственничники багульниковый, рододендроновый, ольховниковый, ерниковый и горнокаменистый.

Склоны Яблонового хребта покрыты преимущественно лиственными брусничными (25 %), а также разнотравными и багульниковыми (13 и 15 %). Незначительные площади занимают рододендроновый и ольховниковый лиственные.

Возрастная структура лесов по учету лесного фонда 1996 г. свидетельствует о доминировании площади спелых (19 %) и перестойных насаждений (39 %). Сравнительно незначительные площади занимают средневозрастная (7 %) и приспевающая (9 %) группы возраста. В то же время площадь молодняков характеризуется благополучным (31 %) естественным возобновлением леса на рассматриваемой территории.

По данным специалистов Беклемишевского лесничества, лесные пожары на территории исследованных площадей были в 2001, 2003, 2006–2008, 2012–2015 гг. В 2014 г. пожары происходили по гарям 2008 г. Общая площадь пожаров на модельной площади «Осиновка» в период 1997–2015 гг. составила 2521,1 га (23,6 %), на площади «Рышмалей» — 3160,1 га (30,7 %).

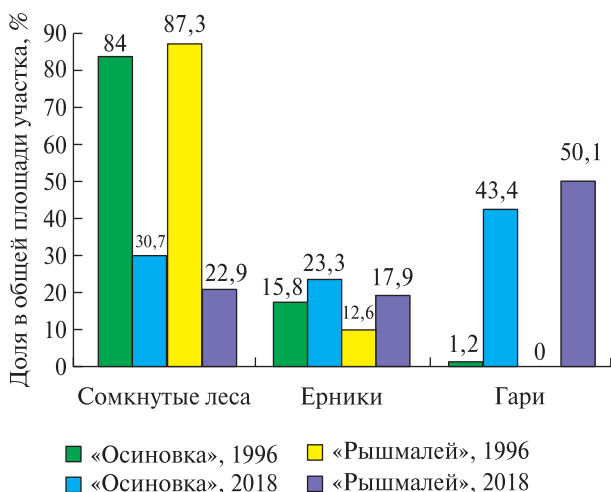


Рис. 4. Изменение площади категорий лесных земель после пожаров 1996–2018 гг.

Fig. 4. Change in the area of forest land categories after fires in 1996–2018

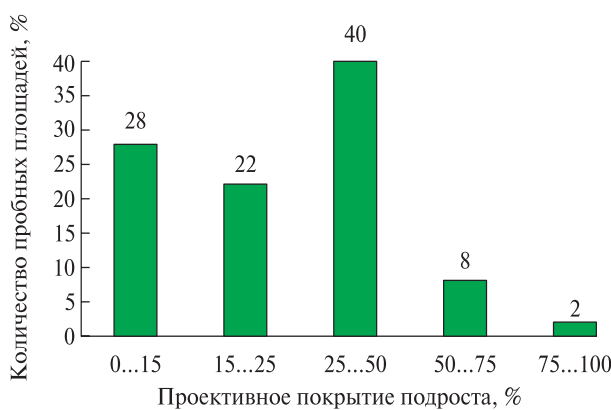


Рис. 5. Оценка естественного возобновления на исследованных пробных площадях по проективному покрытию подроста: 0...15% — отсутствует; 15...25% — плохое; 25...50% — неудовлетворительное; 50...75% — удовлетворительное; 75...100% — хорошее возобновление

Fig. 5. Estimation of natural regeneration on the sample plots according to the projective cover of undergrowth: 75...100% — good regeneration; 50...5% — satisfactory; 25...50% — unsatisfactory; 15...2% — bad; 0...15% — none

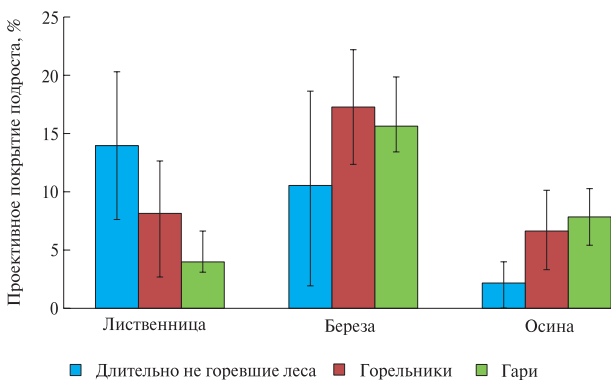


Рис. 6. Естественное возобновление древесных пород

Fig. 6. Natural renewal of tree species

Со времени учета лесного фонда 1996 г., площадь сомкнутых лесов (сомкнутость >0,3) сократилась на модельных площадях «Рышмалей» и «Осиновка» соответственно на 45,7 и 56,5 %, и, напротив, значительно увеличилась площадь гарей: на 48,7 % («Рышмалей») и 43,4 % («Осиновка»), а также возросла площадь ерников — на 17,0 % («Рышмалей») и 7,0 % («Осиновка») (рис. 4).

Возможно, это связано с тем, что при снижении сомкнутости крон лиственницы или ее уничтожении огнем береза кустарниковая получает лучшие условия освещенности, температурного режима и поэтому лучше развиваются вегетативные и генеративные органы семеношения [23].

Характеристика естественного возобновления

По глазомерной оценке общее естественное возобновление древесных пород оценивается как хорошее и удовлетворительное только на 10 % исследованных пробных площадей. На большей их части возобновление деревьев неудовлетворительное, плохое или отсутствует (рис. 5).

Подрост древесных пород включал в себя лиственницу, березу, осину и реже сосну на модельной площади «Осиновка». В длительно не горевших насаждениях в подросте находились преимущественно лиственница и береза. На горельниках и гарях в подросте доминировала береза, увеличивалась доля осины (рис. 6).

Снижение уровня биоразнообразия. На пробных площадях, занятых длительно не горевшими лесами, горельниками и гарями, учитывали число видов высших растений, мхов и лишайников. Анализ результатов показал тенденцию уменьшения числа видов растений и лишайников на горельниках и гарях (рис. 7).

Индекс концентрации видового богатства ($I = S / \lg A$, где S — число видов, A — площадь территории) показал более высокое значение в длительно не горевших насаждениях и на лугах (рис. 8).

Индикатор биоразнообразия характеризует наличие видов растений, включенных в Красную книгу России [24] и Красную книгу Забайкальского края [25]. Для оценки числа редких видов используется индекс редких видов ($ИРВ = \sum N_i / C_i$, где N_i — число видов данной группы (например, высшие сосудистые растения, мхи, лишайники и т. п.) определенной категории редкости; C_i — категория редкости вида (по классификации, принятой в Красной книге России и Забайкальского края) [21]).

В березовых, лиственничных и березово-лиственничных разнотравных лесах отмечено шесть видов растений из Перечня Красной книги растений Забайкальского края. Сюда относятся следующие растения:

- башмачок капительный (*Cypripedium guttatum* Sw.);
- лилия пенсильванская (*Lilium pensylvanicum* Ker-Gawler);
- красоднев малый (*Hemerocallis minor* Miller);
- касатик кроваво-красный (*Iris sanguinea* Donn);
- касатик сглаженный (*Iris laevigata* Fisch. Et C.A. Mey.);
- остролодочник лесной (*Oxytropis sylvatica* Pall.).

Данные виды относятся ко второй категории редкости, поэтому индекс редких видов для всего лесного массива согласно ИРВ составляет 3. После воздействия пожаров на гарях этот показатель снижается до 0,25.

В луговых сообществах на исследуемых территориях встречается два вида растений из Перечня Красной книги растений Забайкальского края, а именно: лилия пенсильванская (*Lilium pensylvanicum* Ker-Gawler) и родиола розовая (*Rhodiola rosea* L.). Второй вид относится к четвертой категории редкости. Таким образом, индекс редких видов для луговых сообществ согласно ИРВ составляет 1,25.

Часто повторяющиеся природные пожары привели к изменению соотношения числа видов широтно-географических групп (лесных, степных и луговых). Данная тенденция прослеживается и на исследованных территориях. В ерниковых сообществах отмечается уменьшение числа видов лесной группы на гарях и увеличение как числа видов растений степной группы, так и числа видов растений луговой группы. Поэтому увеличение площади ерниковых сообществ после пожаров можно рассматривать в качестве тенденции замещения лесов на травянистые сообщества. Ерниковые сообщества часто расположены в комплексе с закустаренными лугами, переходящими, в свою очередь, в суходольные луга (рис. 9).

Выводы

Климатические изменения на рассматриваемой территории в указанный период времени обусловили значительное сокращение площади сомкнутых лесов, расширение площади гарей и кустарниковых сообществ. Естественное возобновление древесных пород оценивается преимущественно как неудовлетворительное. Наблюдается тенденция снижения флористического разнообразия на гарях и ерниковых сообществах. Индекс концентрации видового богатства на гарях, горельниках и ерниковых сообществах значительно ниже, чем в длительно не горевших лесах. Индикатор биоразнообразия на гарях значительно ниже, чем в длительно не горевших лесах. Наблюдается тенденция снижения числа видов лесной широтно-географической группы на гарях и ерниковых сообществах и возрастание степной группы растений в луговых сообществах.

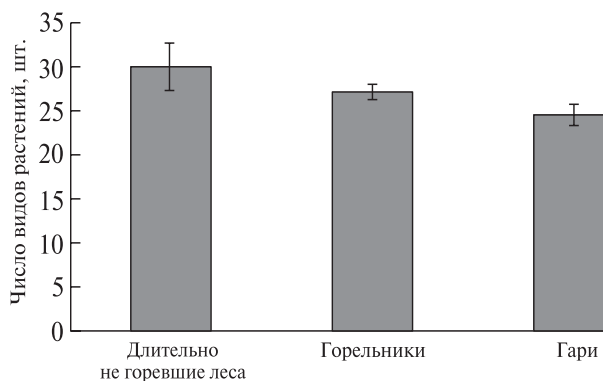


Рис. 7. Снижение числа видов растений после пожаров
Fig. 7. Decrease in the number of plant species after fires

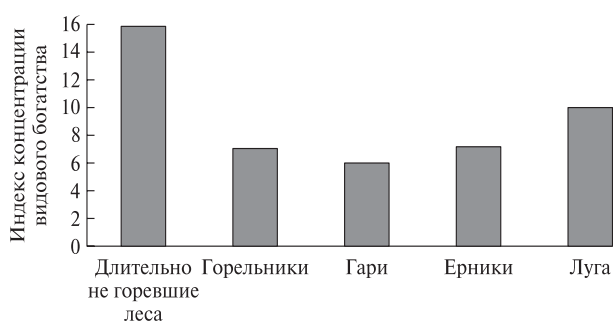


Рис. 8. Индекс концентрации видового богатства по категориям лесного фонда

Fig. 8. Species wealth concentration index by forest fund categories

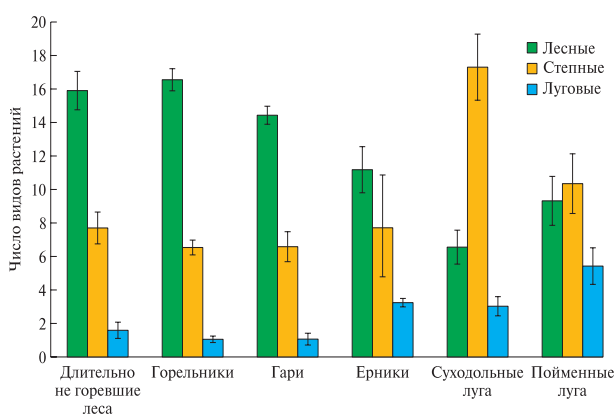


Рис. 9. Изменение числа видов широтно-географических групп растений по категориям земель лесного фонда
Fig. 9. Change in the number of species of latitudinal-geographical groups of plants by categories of forest fund lands

Расширение площади ерниковых сообществ можно рассматривать как тенденцию замещения лесной растительности на кустарниковую и далее на луговую и степную.

В настоящее время в регионе продолжается период с достаточным количеством весенне-летних осадков, поэтому важно продолжить исследование по дальнейшему изменению структуры и биологического разнообразия растительных сообществ на выделенных модельных площадях.

Список литературы

- [1] Сосновчик Ю.Ф. Противопожарная профилактика в лесу, разработка техники для профилактики и тушения лесных пожаров // XVII Междунар. науч.-практ. конф. «Кулагинские чтения: техника и технологии производственных процессов», Чита, 27–30 ноября 2017 г. Чита: Изд-во Забайкальского государственного университета, 2017. С. 234–242.
- [2] Сосновчик Ю.Ф. Лесные пожары в Забайкальском крае: анализ и прогноз пожарной обстановки // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация, 2016. № 2. С. 19–25.
- [3] Буряк Л.В., Кукавская Е.А., Каленская О.П., Малых О.Ф., Бакшеева Е.О. Последствия лесных пожаров в южных и центральных районах Забайкальского края // Сибирский лесной журнал, 2016. № 6. С. 94–102.
- [4] Буряк Л.В., Кукавская Е.А., Иванов В.А., Малых О.Ф., Котельников Р.В. Оценка пожарной опасности и ее динамики в лесных районах Сибири // Лесоведение, 2021. Т. 4. № 4. С. 339–353.
- [5] Швецов Е.Г., Кукавская Е.А., Буряк Л.В. Спутниковый мониторинг состояния лесной растительности после воздействия пожаров в Забайкальском крае // Сибирский экологический журнал, 2016. Т. 23. № 6. С. 832–842.
- [6] Евдокименко М.Д. Лесоэкологические последствия пожаров в светлохвойных лесах Забайкалья // Экология, 2011. № 3. С. 191–196.
- [7] Евдокименко М.Д. Пирогенная дигрессия лиственничников Забайкалья и Северной Монголии // ИВУЗ Лесной журнал, 2009. № 4. С. 12–18.
- [8] Горбунов И.В., Макаров В.П., Малых О.Ф. Послепожарное состояние древесной растительности на территории Ивано-Арахлейского природного парка (Забайкальский край) // Успехи современного естествознания, 2015. № 7. С. 54–59.
- [9] Макаров В.П., Малых О.Ф., Горбунов И.В., Пак Л.Н., Зима Ю.В., Банщикова Е.А., Желибо Т.В. Влияние пожаров на флористическое разнообразие сосновых лесов Восточного Забайкалья // ИВУЗ Лесной журнал, 2019. № 1(367). С. 77–86.
- [10] Евдокименко М.Д. Пирогенные нарушения лесорастительной среды в сосняках Забайкалья и их лесоводственные последствия // Лесоведение, 2014. № 1. С. 3–12.
- [11] Абакумова В.Ю., Малых О.Ф., Вахнина И.Л. Усыхание березняков российской части бассейна реки Онон в конце XX – начале XXI века // География и природные ресурсы, 2017. № 1. С. 163–170.
- [12] Малых О.Ф. Усыхание березняков Восточного Забайкалья в местах массового размножения непарного шелкопряда // Известия Оренбургского государственного аграрного университета, 2014. № 4 (48). С. 8–10.
- [13] Аненхонов О.А. Лесные сообщества лесостепи Юго-Западного Забайкалья и климатогенная интерпретация направлений их динамики // Проблемы изучения растительного покрова Сибири. Материалы VI Междунар. науч. конф., посвященной 100-летию со дня рождения Антонины Васильевны Положий. Томск, 24–26 октября 2017 года. Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2017. С. 22–24.
- [14] Абрамов Б.Н. Геолого-географическая характеристика // Ивано-Арахлейский заказник: природно-ресурсный потенциал территории. Чита: Поиск, 2002. С. 8–21.
- [15] Помазкова Н.В., Мальчикова И.Ю. Климат // Ивано-Арахлейский заказник: природно-ресурсный потенциал территории. Чита: Поиск, 2002. С. 27–31.
- [16] Янькова В.Н. Растительность // Ивано-Арахлейский заказник: природно-ресурсный потенциал территории. Чита: Поиск, 2002. С. 31–38.
- [17] Алексеев В.А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоя // Лесоведение, 1989. № 4. С. 51–57.
- [18] Буряк Л.В., Каленская О.П. Влияние пожаров на формирование насаждений Нижнего Приангарья. Пушкино: Изд-во ВНИИЛМ, 2020. 140 с.
- [19] Инструкция по определению ущерба, причиняемого лесными пожарами. Утверждена приказом Руководителя Федеральной службы лесного хозяйства России от 3 апреля 1998 г. № 53. URL: <https://docs.cntd.ru/document/901863083> (дата обращения 05.01.2022).
- [20] Яшнов Л.И., Колпиков М.В. О возобновлении горелых площадей Вотской автономной области. По материалам экспедиции 1927 года // Известия Казанского института сельского хозяйства и лесоводства, 1930. № 1. С. 58–87.
- [21] Яшина Т.В. Индикаторы оценки биоразнообразия на особо охраняемых природных территориях Алтае-Саянского экорегиона. Руководство по использованию. Красноярск: [б.и.], 2011. 56 с.
- [22] Малышев Л.И., Пешкова Г.А. Особенности и генезис флоры Сибири (Предбайкалье и Забайкалье). Новосибирск: Наука, 1984. 265 с.
- [23] Сэкулич И.Р., Аненхонов О.А. Антропогенное воздействие на ерники Витимского плоскогорья (Северное Забайкалье) // География и природные ресурсы, 2011. № 1. С. 183–185.
- [24] Красная книга Российской Федерации. Растения и грибы. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2008. 885 с.
- [25] Красная книга Забайкальского края: Растения / под ред. О.А. Поповой. Новосибирск: Дом мира, 2017. 384 с.

Сведения об авторах

Макаров Владимир Петрович✉ — канд. биол. наук, ст. науч. сотр. ФГБУН «Институт природных ресурсов, экологии и криологии Сибирского отделения Российской академии наук», лаборатория географии и регионального природопользования, vm2853@mail.ru

Желибо Татьяна Витальевна — мл. науч. сотр. ФГБУН «Институт природных ресурсов, экологии и криологии Сибирского отделения Российской академии наук», лаборатория географии и регионального природопользования, zhelibo@mail.ru

Малых Ольга Федоровна — науч. сотр. ФГБУН «Институт природных ресурсов, экологии и криологии Сибирского отделения Российской академии наук», лаборатория географии и регионального природопользования, mas16o@yandex.ru

Банщикова Екатерина Анатольевна — мл. науч. сотр. ФГБУН «Институт природных ресурсов, экологии и криологии Сибирского отделения Российской академии наук», лаборатория географии и регионального природопользования, kait1986@mail.ru

Зима Юрий Владимирович — канд. геогр. наук, науч. сотр. ФГБУН «Институт природных ресурсов, экологии и криологии Сибирского отделения Российской академии наук», лаборатория географии и регионального природопользования, zima.yura@mail.ru

Поступила в редакцию 18.02.2022.

Одобрено после рецензирования 29.04.2022.

Принята к публикации 15.08.2022.

STRUCTURE AND BIODIVERSITY CHANGES AFFECTED BY FIRES IN LARCH FORESTS AT KHILOK RIVER (LAKE BASIN. BAIKAL) UPSTREAM FLOW

V.P. Makarov✉, T.V. Zhelibo, O.F. Malykh, E.A. Banshchikova, Yu.V. Zima

Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 16a, Nedorezova st., 672014, Chita, Russia

vm2853@mail.ru

The study results of changes in the larch forests' structure and biodiversity in the upper Khilok River basin (right tributary of the Selenga River) affected by the climate change and forest fires in the period from 1996 to 2018 are presented. It was found that the area of closed forests decreased by an average of 51 %, the burnt forest area and burnt timber increased by 46%, dwarf birches decreased by 12 %, the natural reforestation of the sample areas is 90 % poor and unsatisfactory. It was revealed that due to fires in forest communities, the total number of plant species and lichens decreases, indices of species wealth and biodiversity concentration decrease in plant communities, and the ratio of species of latitudinal geographical groups (forest, steppe and meadow) changes. It is shown that with further climate aridization, an increase in the area of dwarf birches communities after fires can lead to the replacement of forests with shrubby, and later grassy communities. It is recommended to continue research on changes in the structure and biological diversity of plant communities in the selected model areas due to an increase in the amount of spring-summer precipitation in the region.

Keywords: larch forests, fires, climate, biodiversity, Transbaikalia

Suggested citation: Makarov V.P., Zhelibo T.V., Malykh O.F., Banshchikova, E.A. Zima Yu.V. *Izmeneniya struktury i bioraznobraziya listvennichnykh lesov v verkhnem techenii r. Khilok (basseyn oz. Baykal) pod vozdeystviem pozharov* [Structure and biodiversity changes affected by fires in larch forests at Khilok river (lake basin. Baikal) upstream flow]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 5, pp. 54–63.
DOI: 10.18698/2542-1468-2022-5-54-63

References

- [1] Sosnovchik Yu.F. *Protivopozharnaya profilaktika v lesu, razrabotka tekhniki dlya profilaktiki i tusheniya lesnykh pozharov* [Fire prevention in the forest, development of equipment for the prevention and extinguishing of forest fires]. XVII Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Kulaginskie chteniya: tekhnika i tekhnologii proizvodstvennykh protsessov» [XVII International Scientific and Practical Conference «Kulagin Readings: Techniques and Technologies of Production Processes»], Chita, November 27–30, 2017. Chita: Publishing house Zabaykal'skiy gosudarstvennyy universitet [Transbaikal State University], 2017, pp. 234–242.
- [2] Sosnovchik Yu.F. *Lesnye pozhary v Zabaykal'skom krae: analiz i prognoz pozharoy obstanovki* [Forest fires in the Transbaikal Territory: analysis and forecast of the fire situation]. *Pozhary i chrezvychaynye situatsii: predotvrashchenie, likvidatsiya* [Fires and emergency situations: prevention, liquidation], 2016, no. 2, pp. 19–25.

- [3] Buryak L.V., Kukavskaya E.A., Kalenskaya O.P., Malykh O.F., Baksheeva E.O. *Posledstviya lesnykh pozharov v yuzhnykh i tsentral'nykh rayonakh Zabaykal'skogo kraya* [Consequences of forest fires in the southern and central regions of the Trans-Baikal Territory]. *Sibirskiy lesnoy zhurnal* [Siberian Forest Journal], 2016, no. 6, pp. 94–102.
- [4] Buryak L.V., Kukavskaya E.A., Ivanov V.A., Malykh O.F., Kotelnikov R.V. *Otsenka pozharnoy opasnosti i ee dinamiki v lesnykh rayonakh Sibiri* [Assessment of fire danger and its dynamics in the forest regions of Siberia]. *Lesovedenie*, 2021, v. 4, no. 4, pp. 339–353.
- [5] Shvetsov E.G., Kukavskaya E.A., Buryak L.V. *Sputnikovyy monitoring sostoyaniya lesnoy rastitel'nosti posle vozdeystviya pozharov v Zabaykal'skom krae* [Satellite monitoring of the state of forest vegetation after the impact of fires in the Trans-Baikal Territory]. *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal* [Siberian Ecological Journal], 2016, v. 23, no. 6, pp. 832–842.
- [6] Evdokimenko M.D. *Lesoekologicheskie posledstviya pozharov v svetlokhvoynnykh lesakh Zabaykal'ya* [Forest-ecological consequences of fires in the light coniferous forests of Transbaikalia]. *Ekologiya* [Ecology], 2011, no. 3, pp. 191–196.
- [7] Evdokimenko M.D. *Pirogennaya digressiya listvennichnikov Zabaykal'ya i Severnoy Mongolii* [Pyrogenic digression of larch forests in Transbaikalia and Northern Mongolia]. *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2009, no. 4, pp. 12–18.
- [8] Gorbunov I.V., Makarov V.P., Malykh O.F. *Poslepozharnoe sostoyanie drevesnoy rastitel'nosti na territorii Ivano-Arakhleyskogo prirodnogo parka (Zabaykal'skiy kray)* [Post-fire state of woody vegetation on the territory of the Ivano-Arakhlei natural park (Zabaykalsky Krai)]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Successes of modern natural sciences], 2015, no. 7, pp. 54–59.
- [9] Makarov V.P., Malykh O.F., Gorbunov I.V., Pak L.N., Zima Yu.V., Banshchikova E.A., Zhelibo T.V. *Vliyaniye pozharov na floristicheskoe raznoobrazie sosnovykh lesov Vostochnogo Zabaykal'ya* [Influence of fires on the floristic diversity of pine forests in Eastern Transbaikalia]. *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2019, no. 1(367), pp. 77–86.
- [10] Evdokimenko M.D. *Pirogennyye narusheniya lesorastitel'noy sredy v sosnyakakh Zabaykal'ya i ikh lesovodstvennyye posledstviya* [Pyrogenic disturbances of the forest environment in the pine forests of Transbaikalia and their forestry consequences]. *Lesovedenie*, 2014, no. 1, pp. 3–12.
- [11] Abakumova V.Yu., Malykh O.F., Vakhnina I.L. *Usykhaniye bereznyakov rossiysskoy chasti basseyna reki Onon v kontse XX — nachale XXI veka* [Drying out of birch forests in the Russian part of the Onon river basin at the end of the 20th – beginning of the 21st centuries]. *Geografiya i prirodnye resursy* [Geography and Natural Resources], 2017, no. 1, pp. 163–170.
- [12] Malykh O.F. *Usykhaniye bereznyakov Vostochnogo Zabaykal'ya v mestakh massovogo razmnozheniya neparnogo shelkopryada* [Drying out of birch forests of Eastern Transbaikalia in places of mass reproduction of the gypsy moth]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Proceedings of the Orenburg State Agrarian University], 2014, no. 4 (48), pp. 8–10.
- [13] Anenkhonov O.A. *Lesnye soobshchestva lesostepi Yugo-Zapadnogo Zabaykal'ya i klimatogennaya interpretatsiya napravleniy ikh dinamiki* [Forest communities of the forest-steppe of Southwestern Transbaikalia and climatogenic interpretation of the directions of their dynamics]. *Problemy izucheniya rastitel'nogo pokrova Sibiri. Materialy VI Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii, posvyashchennoy 100-letiyu so dnya rozhdeniya Antoniny Vasil'evny Polozhiy* [Problems of studying the vegetation cover of Siberia. Proceedings of the VI International Scientific Conference dedicated to the 100th anniversary of the birth of Antonina Vasilievna Polozhiy]. Tomsk, October 24–26, 2017. Tomsk: [Tomsk State University Publishing House], 2017, pp. 22–24.
- [14] Abramov B.N. *Geologo-geograficheskaya kharakteristika* [Geological and geographical characteristics]. *Ivano-Arakhleyskiy zakaznik: prirodno-resursnyy potentsial territorii* [Ivano-Arakhleisky reserve: natural resource potential of the territory]. Chita: Poisk, 2002, pp. 8–21.
- [15] Pomazkova N.V., Malchikova I.Yu. *Klimat* [Climate]. *Ivano-Arakhleyskiy zakaznik: prirodno-resursnyy potentsial territorii* [Ivano-Arakhleisky reserve: natural resource potential of the territory]. Chita: Poisk, 2002, pp. 27–31.
- [16] Yankova V.N. *Rastitel'nost'* [Vegetation]. *Ivano-Arakhleyskiy zakaznik: prirodno-resursnyy potentsial territorii* [Ivano-Arakhleisky reserve: natural resource potential of the territory]. Chita: Poisk, 2002, pp. 31–38.
- [17] Alekseev V.A. *Diagnostika zhiznennogo sostoyaniya derev'ev i drevostoy* [Diagnostics of the vital state of trees and stands]. *Lesovedenie*, 1989, no. 4, pp. 51–57.
- [18] Buryak L.V., Kalenskaya O.P. *Vliyaniye pozharov na formirovaniye nasazhdeniy Nizhnego Priangara* [Influence of fires on the formation of plantations in the Lower Angara region]. *Pushkino: VNIILM*, 2020, 140 p.
- [19] *Instruktsiya po opredeleniyu ushcherba, prichinyaemogo lesnymi pozharami. Utverzhdena prikazom Rukovoditelya Federal'noy sluzhby lesnogo khozyaystva Rossii ot 3 aprelya 1998 g. N 53*. [Instructions for determining the damage caused by forest fires. Approved by order of the Head of the Federal Forestry Service of Russia dated April 3, 1998 N 53]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/901863083> (accessed 05.01.2022).
- [20] Yashnov L.I., Kolpikov M.V. *O vozobnovlenii gorelykh ploshchadey Votskoy avtonomnoy oblasti. Po materialam ekspeditsii 1927 goda* [On the resumption of burnt areas of the Votskaya Autonomous Region. Based on the materials of the 1927 expedition]. *Izvestiya Kazanskogo instituta sel'skogo khozyaystvava i lesovodstva* [News of the Kazan Institute of Agriculture and Forestry], 1930, no. 1, pp. 58–87.
- [21] Yashina T.V. *Indikatoriy otsenki bioraznoobraziya na osobo okhranyaemykh prirodnnykh territoriyakh Altae-Sayanskogo ecoregiona* [Indicators for assessing biodiversity in specially protected natural areas of the Altai-Sayan ecoregion. User guide]. Krasnoyarsk, 2011, 56 p.
- [22] Malyshev L.I., Peshkova G.A. *Osobennosti i genezis flory Sibiri (Predbaykal'e i Zabaykal'e)* [Peculiarities and Genesis of Siberian Flora (Prebaikalia and Transbaikalia)]. Novosibirsk: Nauka, 1984, 265 p.
- [23] Sekulich I.R., Anenkhonov O.A. *Antropogennoye vozdeystvie na erniki Vitimskogoploskogoro'ya (Severnoye Zabaykal'e)* [Anthropogenic impact on the dwarf dwarf birches of the Vitim plateau (Northern Transbaikalia)]. *Geografiya i prirodnye resursy* [Geography and natural resources], 2011, no. 1, pp. 183–185.
- [24] *Krasnaya kniga Rossiyskoy Federatsii. Rasteniya i griby* [Red Book of the Russian Federation. Plants and mushrooms]. Moscow: *Tovarishchestvo nauchnykh izdaniy KMK* [Association of scientific publications KMK], 2008, 885 p.
- [25] *Krasnaya kniga Zabaykal'skogo kraya: Rasteniya* [Red Book of the Trans-Baikal Territory. Plants]. Ed. O.A. Popova. Novosibirsk: [House of Peace], 2017, 384 p.

Author's information

Makarov Vladimir Petrovich ✉ — Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher at the Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Laboratory of Geography and Regional Nature Management, vm2853@mail.ru

Zhelibo Tat'yana Vital'evna — Junior Researcher at the Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Laboratory of Geography and Regional Nature Management, zhelibo@mail.ru

Malykh Ol'ga Fedorovna — Researcher at the Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Laboratory of Geography and Regional Nature Management, mas160@yandex.ru

Banshchikova Ekaterina Anatol'evna — Junior Researcher at the Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Laboratory of Geography and Regional Nature Management, kait1986@mail.ru

Zima Yuriy Vladimirovich — Cand. Sci. (Geograph.), Researcher at the Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Laboratory of Geography and Regional Nature Management, zima.yura@mail.ru

Received 18.02.2022.

Approved after review 29.04.2022.

Accepted for publication 15.08.2022.

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

СПЕЦИФИКА РАСПРОСТРАНЕНИЯ И ТУШЕНИЯ ТОРФЯНЫХ ПОЖАРОВ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД

И.М. Секерин, Г.А. Годовалов, А.М. Ерицов, С.В. Залесов✉

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

Zalesovsv@usfeu.ru

Проанализирована горимость лесов Свердловской области за период с 2016 по 2021 г. Установлено, что количество лесных пожаров в 2021 г. увеличилось, по сравнению со среднегодовым за предшествующие 5 лет, в 3 раза при увеличении количества торфяных пожаров в 11,3 раза. Отмечены причины такого резкого увеличения торфяных пожаров — накопление дефицита влаги в почве и снижение уровня грунтовых вод. Показано, что торфяные пожары не прекращаются в зимний период и развиваются по двум типам. Первый тип развития характерен для безлесных участков, приуроченных к повышенным элементам рельефа, а второй — под пологом древостоя. Рекомендуется тушить торфяные пожары в зимний период путем выкорчевки деревьев, перемешивания торфа со снегом и холодным грунтом с последующим уплотнением бульдозером. Показано, что при использовании бульдозера можно потушить несколько активных очагов пожаров на участке площадью 0,5 га за одну смену.

Ключевые слова: лесной пожар, торфяной пожар, тление, снежный покров, раскорчевка, тушение, перемешивание, ликвидация

Ссылка для цитирования: Секерин И.М., Годовалов Г.А., Ерицов А.М., Залесов С.В. Специфика распространения и тушения торфяных пожаров в зимний период // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 5. С. 64–70. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-5-64-70

Известно [1, 2], что лесные пожары подразделяются на такие основные виды, как низовые, верховые и почвенные (торфяные). По количеству и пройденной огнем площади доминируют, как правило, низовые пожары [3–6]. Однако в отдельные годы лидерство по площади переходит к верховым пожарам [7–9]. При этом доля торфяных пожаров относительно невелика и составляет 0,5...1,0 % при доле, пройденной ими площади, менее 1,0 %. В засушливые годы количество торфяных лесных пожаров увеличивается, и они наносят существенный вред не только за счет гибели древостоев, выгорания торфа и затрат на их тушение, но и за счет негативного воздействия на здоровье населения, поскольку в процессе тления торфа в атмосферу поступают вредные продукты его неполного сгорания.

Возникновение торфяных пожаров начинается с открытого вертикального заглужения в процессе устойчивых низовых пожаров или непотушенных костров на торфяных почвах. Критическое влагосодержание торфа при заглужении, выше которого горение невозможно, составляет 200 % [10]. После того как произошло заглужение и пожар начинает распространяться в горизонтальном направлении критическое влагосодержание торфа увеличивается на верховых болотах до 500 % [11].

Скорость распространения торфяных пожаров невелика и обычно не превышает 0,2 м/сут.

Однако при этом этот вид пожара может действовать круглый год, что в сочетании со сложностью тушения торфяных пожаров приводит к длительному сохранению очагов горения [12–14]. Дополнительно следует добавить, что чаще всего торфяные пожары возникают вблизи населенных пунктов на осушенных территориях. В результате ухудшается экологическая обстановка и, как следствие этого, возникает недовольство населения.

Нередко непотушенные торфяные пожары в весенний период переходят в низовые, создавая иллюзию самовозгорания. Указанное свидетельствует о необходимости ликвидации торфяных пожаров вне зависимости от сезона года. Поскольку торфяные пожары возникают преимущественно в конце лета и осенью, они нередко уходят в зиму непотушенными. В научной литературе отсутствуют работы по тушению торфяных пожаров в зимний период, что поспособствовало выбору направления наших исследований и определило их актуальность.

Цель работы

Цель работы — анализ развития торфяных пожаров в зимний период и разработка на этой основе предложений по их ликвидации.

Объекты и методика исследований

Объектом исследований служили торфяные пожары, зафиксированные в декабре 2021 г. на территории Свердловской области.

Основные показатели горимости лесов за период с 2016 по 2021 гг.
The main indicators of frequency forest fires occurrence for the period from 2016 to 2021

Показатель горимости	2016	2017	2018	2019	2020	Среднее за 5 лет	2021
Количество лесных пожаров на землях государственного лесного фонда, шт.: в том числе торфяных	607	304	378	263	423	395	1185
	9	6	5	0	7	7	79
Площадь, пройденная огнем лесных пожаров, га	3304,46	3128,82	4413,47	2147,43	9223,03	4443,44	58087,85
Средняя площадь пожара, га	5,4	10,3	11,7	11,9	21,8	12,2	49,0



Рис. 1. Валежная гарь, образовавшаяся после устойчивого низового пожара

Fig. 1. Fallen burned area formed after a stable ground fire

В ходе натурного обследования действующих торфяных пожаров было проанализировано их увеличение в зависимости от таких факторов, как наличие древостоя, снежного покрова и т. д.

Основной объем исследований был выполнен по двум торфяным пожарам:

1) торфяному пожару на левом берегу р. Пышма около населенного пункта Старопышминск в кв. 76 Березовского участкового лесничества Березовского лесничества (далее — пожар № 1);

Пожар № 1 развивался в пределах древостоя ельника мшисто-хвощеного естественного происхождения с преобладанием ели и сосны, сфагновым покровом, низинным питанием болота. Болото является истоком р. Моренка. В пожаре № 1 обнаружены несколько очагов тления торфа, расположенных преимущественно вдоль кромки леса на расстоянии около 700, а также единичные очаги вдоль берега р. Пышма. Очаги горения представляют собой разрозненные вытянутые по кромке действовавшего низового пожара прогары глубиной до 1 м. Тление в большинстве случаев происходит близко к поверхности, на глубине не более 0,5 м. Заглубления очагов вниз в торфяную залежь не происходит. Горение низкой интенсивности с продвижением не более 1 м в месяц. Общая площадь тления не больше 0,2 га.

2) торфяному пожару, расположенному в 6 км на восток от п. Монетный (далее — пожар № 2). В пожаре № 2 торфяное болото представляет

собой бывшую торфоразработку, осушение которой проводилось с 1920-х годов, вплоть до 1980-х годов. Добыча торфа велась здесь механизированным способом. Мощность торфяного слоя составляет от 4...5 до 11 м в отдельных котлованах. Питание болота — низинное. В отдельных местах обнаружены незамерзающие водоемы, подпитываемые грунтовыми водами.

Помимо визуального осмотра и изучения проведено экспериментальное тушение торфяных пожаров, на основании чего составлены предложения по их ликвидации в зимний период.

Материалы и обсуждение

Пожароопасный сезон 2021 г. характеризовался большим количеством лесных пожаров в осенний период. Так, по сравнению со средними пятилетними показателями количество лесных пожаров в 2021 г. увеличилось в 3 раза, пройденная огнем площадь — в 13 раз. Количество почвенных (торфяных) пожаров (таблица) резко увеличилось вследствие накопления дефицита влаги в почве и снижения уровня грунтовых вод.

Осенние пожары отличались высокой интенсивностью. При устойчивых низовых пожарах напочвенный покров и корневые системы деревьев выгорали практически полностью, что приводило к массовому вывалу деревьев в течение 2...4 дней (рис. 1).

На участках с наличием торфа низовые пожары развивались как торфяные, заглубляясь в торфяную залежь. В декабре 2021 г. на территории Свердловской области было зафиксировано 28 действующих торфяных пожаров.

Выполненные нами исследования показали, что все обилие очагов торфяных пожаров можно свести к двум типам:

1) очаги на открытых, свободных от деревьев местах;

2) очаги, распространяющиеся под сформировавшимся древостоем.

Очаги первого типа располагались на возвышенных формах рельефа, достаточно далеко от уровня грунтовых вод, либо на склонах магистральных каналов, что обеспечивало возможность



Рис. 2. Очаг торфяного пожара, образовавшийся на открытой залежи торфа

Fig. 2. The focus of a peat fire formed on an open peat deposit



Рис. 3. Очаг торфяного пожара второго типа, образовавшийся на кромке древостоя

Fig. 3. The center of a peat fire of the second type, formed at the edge of a forest stand



Рис. 4. Образование проталин вследствие торфяного пожара на удалении 1 м от кромки

Fig. 4. Formation of thawed patches due to a peat fire at a distance of 1 m from the edge

просохнуть значительной толще торфа и вовлечься в процесс горения. Очаги в таких местах расширялись очень медленно по всему краю, образуя полости шириной до 2–3 м (рис. 2).

Основным отличием очагов второго типа является распространение горения в сторону древостоя. В процесс горения активно вовлекается подстилка мощностью до полуметра, а также корневые системы деревьев. Глубина прогорания в среднем составляет 0,5 м. Скорость распространения 0,5 м/сут. Данные очаги наиболее характерны для зимних торфяных пожаров в Свердловской области. В 2021–2022 гг., по нашим подсчетам, их доля составляет 85 % относительно всех зафиксированных в декабре торфяных пожаров (рис. 3).

Для более детального исследования нами были установлены фотоловушки на кромках пожара с частотой фотографирования 1 кадр за 3 мин. После трехнедельных съемок полученные кадры были соединены в единый 5-минутный фильм. Таким образом удалось проследить динамику развития торфяного пожара данного типа. Особенность горения заключается в осуществлении процесса тления под снегом, на удалении 0,5 м от кромки растаявшего снега. Очаг горения как бы подныривает под слой снега. Последний служит тепловой изоляцией, способствуя увеличению температуры. В местах выхода теплого воздуха от очагов тления образуются проталины (рис. 4).

Как только появляется проталина, формируется конвекционный поток и нагретая тлеющая субстанция из торфа сухой подстилки и корней деревьев. Горение переходит в пламенную форму, что, в свою очередь, приводит к выделению большого количества теплоты, которая полностью топит весь снег, приводит к обгоранию корней и 100 % вывалу деревьев. После этого активность горения ослабевает, и процесс горения вновь заглубляется под слой снега. На выгоревшей территории внутри площади, пройденной пожаром такого типа, не было обнаружено ни одного действовавшего очага, вся активность находилась исключительно на периметре.

При таком развитии пожара глубина снежного покрова является для процесса горения фактором, скорее, положительным, нежели отрицательным. Чем выше снежный покров, тем больше изоляция от низких температур и формирование более высокой тяги.

Данный факт подтверждается наблюдением, проведенным на участках с меньшим слоем снега. Здесь очаги горения переставали действовать намного раньше, чем на участках с большим слоем снега.

Наиболее важным фактором, определяющим развитие торфяных пожаров в зимнее время, является низкая температура торфа. Именно она является основным фактором, подавляющим горение торфяных пожаров в зимнее время.

Наблюдения за очагами торфяных пожаров зимой позволили установить динамику их развития.

В начале зимы очаги представляют собой сильно вытянутые участки по периметру площади пожара, очень похожие на кромку низового пожара (рис. 5).

Под воздействием отрицательных температур воздуха в середине зимы площади активного горения уменьшались. Большая часть торфяных пожаров переставала гореть, а на оставшихся очаги приобретали округлую форму. При этом происходило слияние мелких очагов в крупные (рис. 6).

Такому развитию торфяных пожаров, на наш взгляд, способствовала низкая температура воздуха. Для продолжения горения необходимо, чтобы поддерживалась температура тлеющего торфа выше 400 °С, а это возможно только при условии минимального рассеивания тепла в окружающую среду, поэтому происходило формирование округлых очагов горения.

В конце зимы от 50 до 80 % подобных очагов перестали существовать. Там, где самоликвидировалось 80 % очагов, произошло полное выгорание торфа и горение прекратилось скорее, не вследствие отрицательной температуры воздуха, а по причине отсутствия горимого материала. Тем не менее в конце зимы произошла очередная трансформация развития горения. Большие округленные очаги под корнями деревьев проникли в древостой и стали представлять собой сильноизрезанные, продвигающиеся с большей скоростью вблизи корней деревьев языки. Последнее объясняется снижением уровня грунтовых вод в марте [15–17]. Причем выпадала примерно половина деревьев древостоя. Так очаги горения узкими языками продвинулись в глубь древостоя до 50 м. Горение происходило в основном в прикорневом, наиболее осушенном, слое (рис. 7).

Известно [1, 18], что торфяной пожар можно потушить, преградив путь огню к горючим материалам путем создания заградительных канав, приостановления доступа кислорода к горящим слоям торфа, увеличения влажности торфа до уровня прекращения тления и зольности торфа до критической (50 %), выше которой торфяная масса уже не горит.

Эксперименты показали, что не все способы тушения торфяных пожаров эффективны и, в частности, неэффективно тушение компрессионной пеной [19].

Положительный опыт тушения торфяных пожаров показан В.А. Сретенским [20], экспериментально доказавшим возможность их ликвидации перемешиванием горящего и негорящего торфа.

На основе полученных данных о развитии торфяных пожаров в зимний период нами для

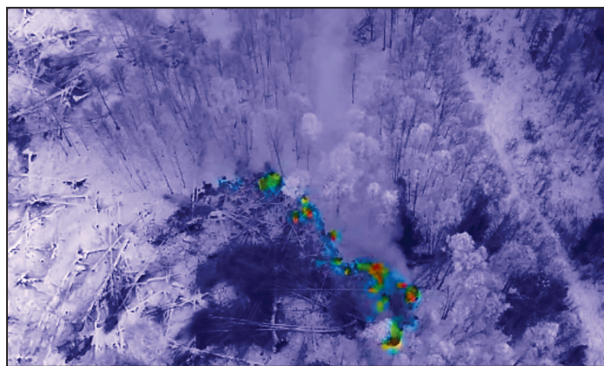


Рис. 5. Очаги горения торфяного пожара вытянутой формы по его периметру в осенний период

Fig. 5. Peat fire burning centers of an elongated shape along its perimeter in autumn

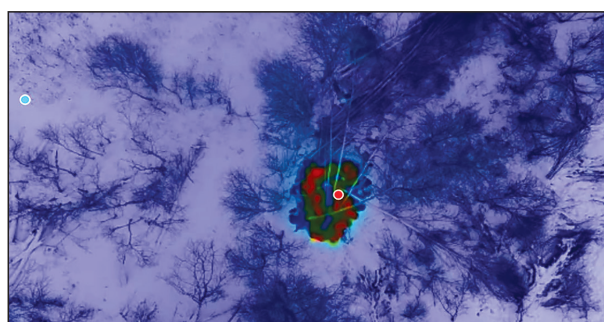


Рис. 6. Очаги горения торфяного пожара округлой формы

Fig. 6. Rounded burning centers of a peat fire



Рис. 7. Распространение очагов весной в прикорневом слое

Fig. 7. Distribution of foci in the root layer in spring

изучения эффективности тушения была заложена пробная площадь, на которой с помощью геориппера (устройство, напоминающее бензопилу, которой делают в грунте щели для укладки кабеля) отрезали горящую кромку и перемешивали горящий торф со снегом. На место тушения установили фотоловушку для отслеживания эффективности эксперимента. В результате тушения таким способом в течение суток не было замечено признаков горения. Однако на следующий день на потушенной площади появилось три очага, которые стали активно развиваться, при этом горение на них происходило активнее, чем на контрольной, не тронутой тушением, площади. Данный эффект объясняется недостаточно хорошей измельченностью остывших перемешанных частей торфа. Перемешанный торф стал более рыхлым, что увеличило в нем содержание воздуха и повысило теплоизоляционные свойства, поэтому горение стало происходить на этом участке активнее. Следовательно, пришли к выводу о необходимости уплотнять тушимый торф.

На основании полученных данных нами была разработана система приемов тушения торфяных пожаров в зимнее время.

Тушение следует проводить бульдозерами без применения воды (рис. 8).



Рис. 8. Тушение торфяного пожара в зимний период
Fig. 8. Extinguishing a peat fire in winter

Первым приемом бульдозер вырывает из грунта деревья с корнями в 3–5-метровой зоне действующего пожара, выталкивает их горящими корнями вверх на уже пройденную пожаром площадь. Важно, чтобы во избежание образования новых очагов корни не перемешивались с перемещаемым грунтом. Вторым приемом обеспечивается выгревание тлеющего торфа на поверхность.

Третий прием заключается в перемешивании тлеющего торфа со снегом и холодным грунтом с одновременным уплотнением этого места траками бульдозера.

По результатам исследования, возникновение горения, появление новых очагов на потушенной площади составляли в среднем один очаг на 100 м потушенной кромки. Площадь таких очагов

не превышала 0,4 м², а ликвидировать проще всего лопатами, т. е. без применения тяжелой техники.

Данным способом были потушены торфяные пожары в начале марта. Он оказался производительным. В течение рабочей смены удавалось потушить до 0,5 га активных очагов при использовании одного бульдозера. Причем необходимость использования ручного труда сводилась к минимуму.

Выводы

1. При недостатке осадков и снижении уровня грунтовых вод резко увеличивается вероятность развития низовых пожаров с переходом в почвенные (торфяные).

2. Торфяные пожары могут развиваться круглый год и оставление их непотушенными в зиму способствует появлению низовых лесных пожаров ранней весной.

3. При развитии торфяных пожаров в зимний период формируются два типа очагов, определяемые, прежде всего, по наличию древостоя.

4. Продвижение кромки торфяного пожара ускоряется в прикорневых слоях торфа.

5. На участках без древостоя торфяные пожары зимой ликвидируются перемешиванием тлеющего торфа с холодным снегом с последующим уплотнением перемешанной массы бульдозером. При тушении торфяного пожара под пологом древостоя вышеуказанному процессу перемешивания предшествует выкорчевка деревьев на пройденную огнем площадь.

6. Использование бульдозера позволяет потушить за смену в зимний период до 0,5 га действующих торфяных пожаров.

Список литературы

- [1] Залесов С.В. Лесная пирология. Екатеринбург: Изд-во УГЛТА, 1998. 296 с.
- [2] Залесов С.В., Залесова Е.С. Лесная пирология. Термины, понятия, определения. Екатеринбург: Изд-во УГЛТУ, 2014. 54 с.
- [3] Усеня В.В. Лесные пожары, последствия и борьба с ними. Гомель: ИЛ НАН Беларуси, 2002. 206 с.
- [4] Воробьев Ю.Л., Акимов В.А., Соколов Ю.И. Лесные пожары на территории России: Состояние и проблемы. М.: ДЭКС – Пресс, 2004. 312 с.
- [5] Шубин Д.А., Залесов С.В. Последствия лесных пожаров в сосняках Приобского водоохранного сосново-березового лесохозяйственного района Алтайского края. Екатеринбург: Изд-во УГЛТУ, 2016. 127 с.
- [6] Фуряев В.В., Самсоненко С.Д., Фуряев Ю.В., Шубин Д.А. Пожароустойчивость лесов юго-востока Западной Сибири. Новосибирск: Наука, 2014. 156 с.
- [7] Парамонов Е.Г., Ишутин Я.И. Крупные лесные пожары в Алтайском крае. Барнаул: Изд-во Алтайского ун-та, 2005. 240 с.
- [8] Марченко В.П., Залесов С.В. Горимость ленточных боров Прииртышья и пути ее минимизации на примере ГУ ГЛПР «Ертыс орманы» // Вестник Алтайского государственного аграрного университета, 2013. № 10 (108). С. 55–59.

- [9] Иванова Г.А., Иванов А.В. Пожары в сосновых лесах Средней Сибири. Новосибирск: Наука, 2015. 240 с.
- [10] Софронов М.А., Волокитина А.В. О контроле почвенно-торфяных пожаров на территории, загрязненной радионуклидами // Предупреждение, ликвидация и последствия пожаров на радиоактивно загрязненных землях: Сб. науч. трудов. Вып. 54. Гомель: Изд-во ИЛ НАН Беларуси, 2002. С. 70–73.
- [11] Курбатский Н.П. Техника и тактика тушения лесных пожаров. М.: Гослесбуиздат, 1962. 154 с.
- [12] Залесов С.В., Миронов М.П. Обнаружение и тушение лесных пожаров. Екатеринбург: Изд-во УГЛТУ, 2004. 138 с.
- [13] Мелехов И.С., Душа-Гудым С.И., Сергеева Е.П. Лесная пирология. М.: МГУЛ, 2007. 196 с.
- [14] Щетинский Е.А. Тушение лесных пожаров. М.: Изд-во ВНИИЛМ, 2002. 104 с.
- [15] Изотов В.Ф. О динамике уровня грунтовых вод и влажности почвы в некоторых типах заболоченных лесов Архангельской области // Лесной журнал, 1964. № 1. С. 23–27.
- [16] Фуряев В.В. Влияние уровня грунтовых вод на пожарное созревание заболоченных и болотных лесов Кеть-Чулымского междуречья // Вопросы лесной пирологии. Красноярск: Изд-во СО АН СССР, 1970. С. 186–219.
- [17] Луганский Н.А., Залесов С.В., Луганский В.Н. Лесоведение. Екатеринбург: Изд-во УГЛТУ, 2010. 432 с.
- [18] Ласута Г.Ф. Состояние и перспективы борьбы с торфяными пожарами // Предупреждение, ликвидация и последствия пожаров на радиоактивно загрязненных землях: Сб. науч. трудов. Вып. 54. Гомель: ИЛ НАН Беларуси, 2002. С. 108–111.
- [19] Залесов С.В., Годовалов Г.А., Крекунов А.А., Залесова Е.С., Оплетаяев А.С. Использование системы пожаротушения NATISK при ликвидации торфяных пожаров // Леса России и хозяйство в них, 2015. № 3 (54). С. 4–10.
- [20] Сретенский В.А. Тушение торфяных пожаров // Лесное хозяйство, 1980. № 7. С. 54–56.

Сведения об авторах

Секерин Илья Михайлович — канд. с.-х. наук, доцент кафедры лесоводства, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»

Годовалов Геннадий Александрович — канд. с.-х. наук, доцент кафедры лесоводства, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», godovalovga@m.usfeu.ru

Ерицов Андрей Маркелович — канд. с.-х. наук, заместитель начальника, ФБУ «Авиалесоохрана»

Залесов Сергей Вениаминович [✉] — д-р с.-х. наук, зав. кафедрой лесоводства, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», Zalesovsv@m.usfeu.ru

Поступила в редакцию 13.04.2022.

Одобрено после рецензирования 18.05.2022.

Принята к публикации 15.08.2022.

SPECIFICS OF PEAT FIRES SPREADING AND EXTINGUISHING IN WINTER

I.M. Secerin, G.A. Godovalov, A.M. Eritsov, S.V. Zalesov [✉]

FSBSS HO «The Ural state Forest Engineering University», 37, Sibirsky Tract st., 620100, Ekaterinburg, Russia

Zalesovsv@usfeu.ru

The article touches upon the analysis the number of peat fires in the Sverdlovsk region for the period from 2016 to 2021. It was found that the number of such fires in 2021 was 11,3 times higher than their average annual number over the past 5 years. It is noted that reason for the sharp increase in peat fires in 2021 is the accumulation of moisture deficiency in the soil and a decrease in the level of ground water. Steady ground fires led to the formation of many local peat fires in the autumn period, which continued to spread even after the snowfalls. In December 2021 28 active peat fires were recorded on the territory of the Sverdlovsk region. All peat fires can be conditionally divided into 2 types. The first type of peat fires is formed for lack of forest stand on the slope of the main drainage channel or on elevated relief elements. Smouldering in the hearth of this type spreads slowly forming cavities up to 2...9 m. The second type of the hearths is formed in the area of the peat deposit with the available forest stand. At the same time the smouldering foci expand under the roots of tree. The snow covering is not the reason for smouldering cessation. But rather maintains it by preserving the temperature to dry the adjacent layers of the peat. Peat fires should be extinguished by uprooting trees and mixing smouldering peat with snow and cold soil, followed by compaction to reduce temperature. Experimental extinguishing of peat fires in march 2022 showed that when using a bulldozer, it is possible to extinguish 0,5 of active foci in one shift.

Keywords: forest fire, peat fire, smouldering, mixing, liquidation

Suggested citation: Secerin I.M., Godovalov G.A., Eritsov A.M., Zalesov S.V. *Spetsifika rasprostraneniya i tusheniya torfyanykh pozharov v zimniy period* [Specifics of peat fires spreading and extinguishing in winter]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 5, pp. 64–70. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-5-64-70

References

- [1] Zalesov S.V. *Lesnaya pirologiya* [Forest pyrology]. Yekaterinburg: UGLTA, 1998, 296 p.
- [2] Zalesov S.V., Zalesova E.S. *Lesnaya pirologiya. Terminy, ponyatiya, opredeleniya* [Forest pyrology. Terms, concepts, definitions]. Yekaterinburg: UGLTU, 2014, 54 p.
- [3] Usenya V.V. *Lesnye pozhary, posledstviya i bor'ba s nimi* [Forest fires, the consequences and the fight against them]. Gomel: IL NAS of Belarus, 2002, 206 p.
- [4] Vorob'ev Yu.L., Akimov V.A., Sokolov Yu.I. *Lesnye pozhary na territorii Rossii: Sostoyanie i problemy* [Forest fires in Russia: Status and problems]. Moscow: DEKS-Press, 2004, 312 p.
- [5] Shubin D.A., Zalesov S.V. *Posledstviya lesnykh pozharov v sosnyakakh Priobskogo vodookhrannogo sosново-berezovogo lesokhozyaystvennogo rayona Altayskogo kraya* [Consequences of forest fires in the pine forests of the Priobskoye water protection pine-birch forestry region of the Altai Territory]. Yekaterinburg: UGLTU, 2016, 127 p.
- [6] Furyaev V.V., Samsonenko S.D., Furyaev I.V., Shubin D.A. *Pozharoustoychivost' lesov yugo-vostoka Zapadnoy Sibiri* [Fire resistance of forests in the southeast of Western Siberia]. Novosibirsk: Nauka, 2014, 156 p.
- [7] Paramonov E.G., Ishutin Ya.I. *Krupnye lesnye pozhary v Altayskom krae* [Large forest fires in the Altai Territory]. Barnaul: Publishing House of Altai University, 2005, 240 p.
- [8] Marchenko V.P., Zalesov S.V. *Gorimost' lentochnykh borov Priirtysh'ya i puti ee minimizatsii na primere GU GLPR «Ertys ormany»* [Combustibility of tape forests in the Irtysh region and ways to minimize it on the example of the State Institution GLPR «Ertys Ormany»]. Bulletin of the Altai State Agrarian University, 2013, no. 10 (108), pp. 55–59.
- [9] Ivanova G.A., Ivanov A.V. *Pozhary v sosnovykh lesakh Sredney Sibiri* [Fires in pine forests of Central Siberia]. Novosibirsk: Nauka, 2015, 240 p.
- [10] Sofronov M.A., Volokitina A.V. *O kontrolirovanii pochvenno-torfyanykh pozharov na territorii, zagryaznennoy radionuklidami* [On the control of soil-peat fires in the territory contaminated with radionuclides]. Preduprezhdenie, likvidatsiya i posledstviya pozharov na radioaktivno zagryaznennykh zemlyakh [Prevention, liquidation and consequences of fires on radioactively contaminated lands: Sat. scientific works], iss. 54. Gomel: INNAN of Belarus, 2002, pp. 70–73.
- [11] Kurbatskiy N.P. *Tekhnika i taktika tusheniya lesnykh pozharov* [Technique and tactics of extinguishing forest fires]. Moscow: Goslesbumizdat, 1962, 154 p.
- [12] Zalesov S.V., Mironov M.P. *Obnaruzhenie i tushenie lesnykh pozharov* [Detection and suppression of forest fires]. Yekaterinburg: Ural State Forest Engineering University, 2004, 138 p.
- [13] Melekhov I.S., Dusha-Gudym S.I., Sergeeva E.P. *Lesnaya pirologiya* [Forest pyrology]. Moscow: MSFU, 2007, 196 p.
- [14] Shchetinskiy E.A. *Tushenie lesnykh pozharov* [Extinguishing forest fires]. Moscow: VNIILM, 2002, 104 p.
- [15] Izotov V.F. *O dinamike urovnya gruntovykh vod i vlazhnosti pochvy v nekotorykh tipakh zabolochemykh lesov Arkhangel'skoy oblasti* [On the dynamics of groundwater levels and soil moisture in some types of swampy forests of the Arkhangel'sk region]. Lesnoy zhurnal [Forest Journal], 1964, no. 1, pp. 23–27.
- [16] Furyaev V.V. *Vliyaniye urovnya gruntovykh vod na pozharnoye sozrevaniye zabolochemykh i bolotnykh lesov Ket'-Chulymskogo mezhdurech'ya* [Influence of the groundwater level on the fire maturation of swampy and swampy forests of the Ket-Chulyum interfluve]. Voprosy lesnoy pirologii [Questions of forest pyrology]. Krasnoyarsk: SO AN SSSR, 1970, pp. 186–219.
- [17] Luganskiy N.A., Zalesov S.V., Luganskiy V.N. *Lesovedeniye* [Forestry]. Yekaterinburg: Ural State Forest Engineering University, 2010, 432 p.
- [18] Lasuta G.F. *Sostoyanie i perspektivy bor'by s torfyanyimi pozharami* [Status and prospects of combating peat fires]. Preduprezhdenie, likvidatsiya i posledstviya pozharov na radioaktivno zagryaznennykh zemlyakh [Prevention, liquidation and consequences of fires on radioactively contaminated lands: Sat. scientific works], iss. 54. Gomel: IL NAS of Belarus, 2002, pp. 108–111.
- [19] Zalesov S.V., Godovalov G.A., Krektunov A.A., Zalesova E.S., Opletaev A.S. *Ispol'zovaniye sistemy pozharotusheniya NATISK pri likvidatsii torfyanykh pozharov* [Use of the NATISK fire extinguishing system in the elimination of peat fires]. Lesa Rossii i khozyaystvo v nikh [Forests of Russia and economy in them], 2015, no. 3 (54), pp. 4–10.
- [20] Sretenskiy V.A. *Tushenie torfyanykh pozharov* [Extinguishing peat fires]. Lesnoe khozyaystvo [Forestry], 1980, no. 7, pp. 54–56.

Authors' information

Sekerin Il'ya Mikhaylovich — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor, Department of Forestry, Ural State Forestry Engineering University

Godovalov Gennadiy Aleksandrovich — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor, Department of Forestry, Ural State Forestry Engineering University, godovalovga@m.usfeu.ru

Eritsov Andrey Markelovich — Cand. Sci. (Agriculture), Deputy Head of FBU «Avialesookhrana»

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

Received 13.04.2022.

Approved after review 18.05.2022.

Accepted for publication 15.08.2022.

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

ЛАНДШАФТНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ТЕРРИТОРИЙ ОБЪЕКТОВ КУЛЬТУРНО-БЫТОВОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Н.П. Карташова^{1✉}, В.В. Кругляк²

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», 394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 8

²ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», 394087, г. Воронеж, ул. Мичурина, д. 1

Kartashova_73@mail.ru

Проанализирована историческая схема московского Дворца пионеров на Воробьевых горах. Выявлены особенности реконструкции занимаемой им территории. Приведен генеральный план территории Дворца творчества детей и молодежи г. Воронежа, а также распределение деревьев по категориям состояния и жизненным формам и расположение цветников в ее пределах. Изложена характеристика ассортимента рекомендуемых растений с позиции их требовательности к увлажнению почвы и видам посадок для объекта ландшафтной организации территории. Установлено, что на территории объекта проектирования рекомендуются посадки солитеров, ландшафтных групп, рядовых посадок и живых изгородей. Определена структура генерального плана литературного парка на территории рассматриваемого Дворца творчества детей и молодежи. Указано место объекта проектирования на панораме с видом Воронежского водохранилища.

Ключевые слова: ландшафтная организация, литературный парк, цветочное оформление

Ссылка для цитирования: Карташова Н.П., Кругляк В.В. Ландшафтная организация территорий объектов культурно-бытового назначения // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 5. С. 71–82.
DOI: 10.18698/2542-1468-2022-5-71-82

Крупные города увеличиваются не только за счет расширения территорий, но и за счет уплотнения городской застройки. При этом огромное значение приобретают городские озелененные территории, выполняющие санитарно-гигиенические, эстетические, оздоровительные функции и служащие местом отдыха населения [1]. Виды размещения озелененных территорий в городах зависят от численности населения. Для крупных и крупнейших городов, численность населения которых соответственно составляет 250...500 тыс. чел. и 500 тыс...1 млн чел., характерна выделенная система районных и городских парков и лесопарков, соответствующая групповому и линейно-полосовому видам размещения озелененных территорий. Озелененные территории различных объектов образуют городскую систему озеленения в которой их размещение должно быть тесно увязано с планировочной структурой города. В идеальном случае система озеленения органично «вплетена» в структуру города, а природный ландшафт является основой ее планировки.

Важное значение в системе озеленения городов имеют объекты общественных и культурно-бытовых учреждений, к которым относятся дома творчества детей и молодежи (дома пионеров), библиотеки, кинотеатры, поликлиники, кафе, театры, банки (рис. 1). Наибольшие пло-

щади среди таких объектов занимают дома творчества детей и молодежи. Для их озеленения характерно размещение зеленых насаждений в виде скверов или садов, которые в свою очередь являются максимально востребованными местами отдыха у населения. Такими объектами являются Московский Дворец пионеров и федеральная территория «Сириус» в г. Сочи.

Московский Дворец пионеров на Воробьевых горах — учреждение дополнительного образования для детей (до 18 лет), является центральным Дворцом детского творчества в России. Здание построено в 1958–1962 гг. и с 2002 г. имеет охранный статус памятника архитектуры (рис. 2).

Генеральный план развития федеральной территории «Сириус» составляют одновременно с генеральным планом г. Сочи. Площадь федеральной территории «Сириус» составляет 1400 га. Основная концепция ее развития — создание города будущего. Концепция определена как интеграция современного урбанизма и окружающего ландшафта (рис. 3).

Уникальное расположение федеральной территории «Сириус» объединяет Черноморскую акваторию, Кавказские горы, реликтовый природный заповедник. На федеральной территории «Сириус» проходила зимняя олимпиада 2014 г. Инновационный научно-технологический центр «Сириус» (ИНТЦ «Сириус») предназначен для обучения и развития талантливых детей России.

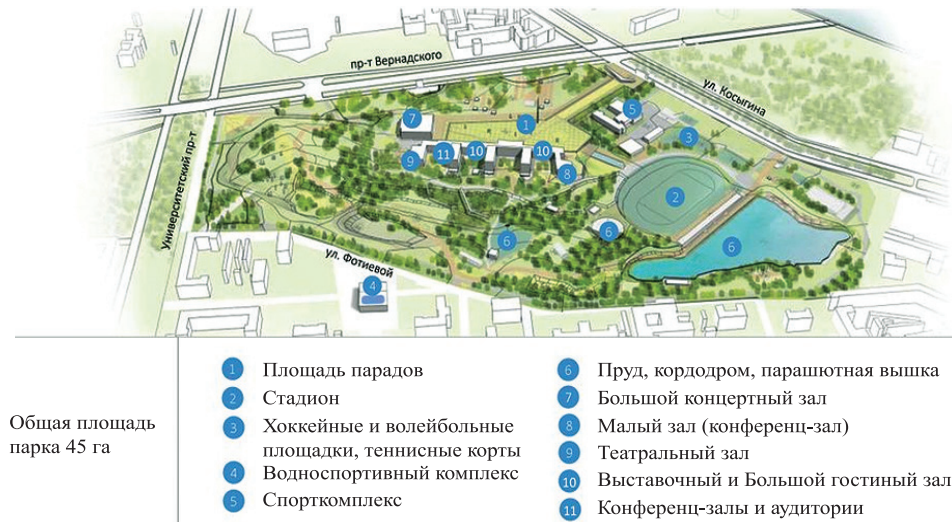


Рис. 1. Схема территории Московского Дворца пионеров на Воробьевых горах
Fig. 1. Scheme of the territory of the Moscow Palace of Pioneers on Sparrow Hills



Рис. 2. Схема реконструкции территории Московского Дворца пионеров на Воробьевых горах
Fig. 2. Scheme of reconstruction of the territory of the Moscow Palace of Pioneers on Sparrow Hills

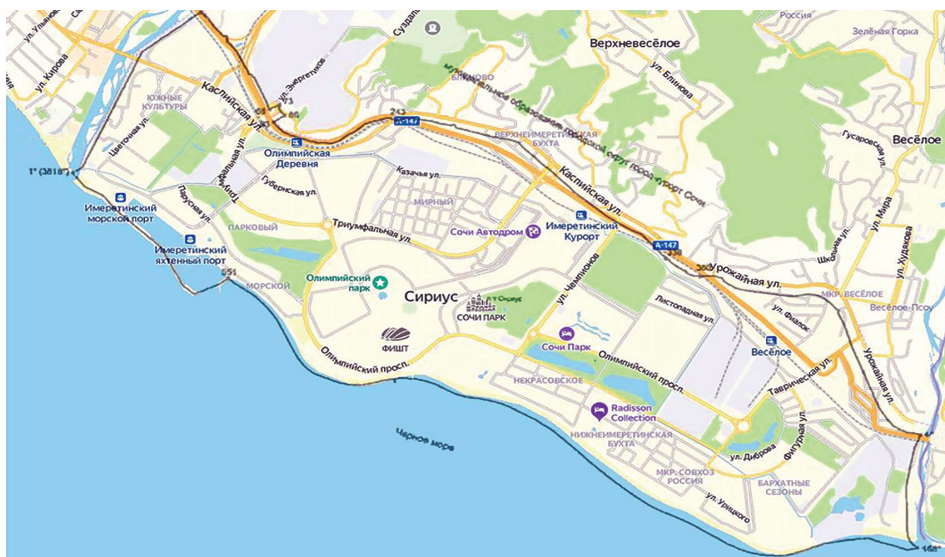


Рис. 3. Карта-схема федеральной территории «Сириус»
Fig. 3. Map-scheme of the federal territory «Sirius»

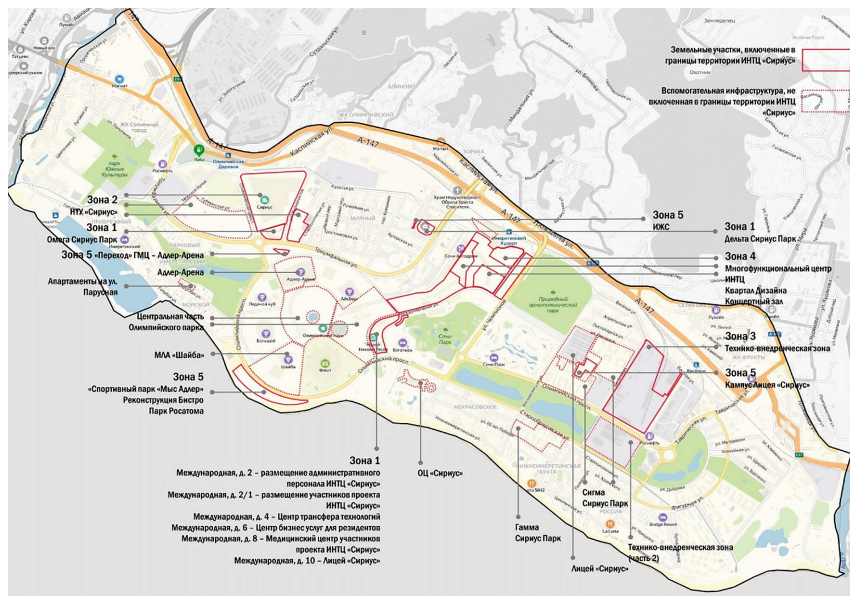


Рис. 4. Принципиальная схема развития земельных участков, включенных в границы территории инновационного научно-технологического центра «Сириус» (источник: <https://intc-sirius.ru/>)

Fig. 4. Schematic diagram of the development of land plots included in the boundaries of the territory of the innovative scientific and technological center «Sirius» (source: <https://intc-sirius.ru/>)



Рис. 5. Дворец творчества детей и молодежи г. Воронежа
Fig. 5. Palace of creativity of children and youth of Voronezh

Основанием для развития объекта является федеральный закон от 22.12.2020 г. № 437-ФЗ «О федеральной территории «Сириус». Принципиальная схема развития земельных участков, включенных в границы его территории представлена на рис. 4.

Цель работы

Цель работы — разработка научно обоснованного подхода ландшафтной организации территорий рассматриваемого объекта культурно-бытового назначения.

Объект исследования — территория Дворца творчества детей и молодежи (ДТДиМ) и при-

легающего к нему «Литературного парка» г. Воронежа общей площадью 8,8 га (рис. 5), которые расположены в центральном районе. К востоку от ДТДиМ находится смотровая площадка с видом на Воронежское водохранилище, к западу — Покровский кафедральный собор, а с южной и северной сторон располагается жилой частный сектор.

Материалы и методы исследования

Для научных исследований применен системный подход, использован комплексный принцип оценки, в том числе инновационные технологии выращивания декоративных растений с учетом

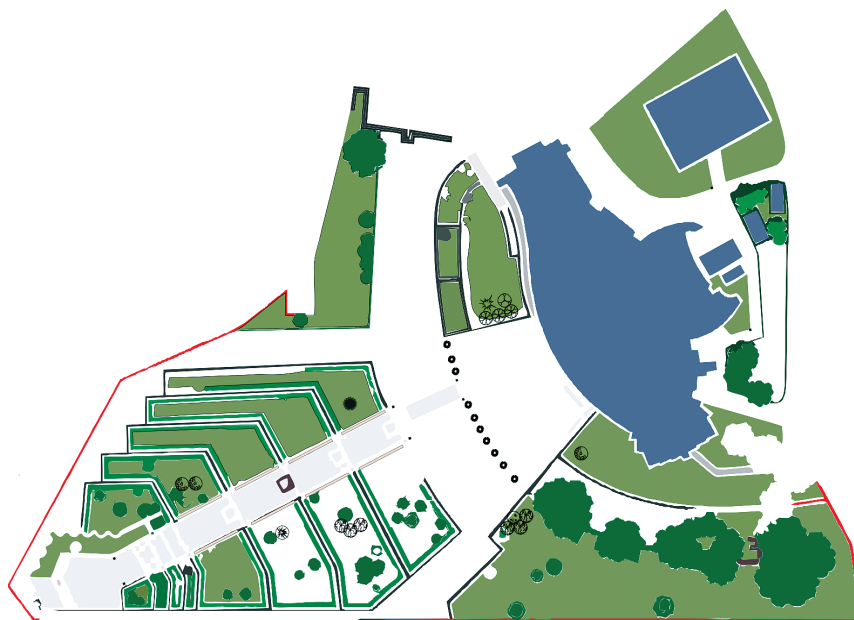


Рис. 6. Генеральный план территории Дворца творчества детей и молодежи г. Воронежа
Fig. 6. General plan of the territory of the Palace of Creativity for Children and Youth in Voronezh

правил создания, содержания и охраны зеленых насаждений. Использовались методики, применяемые в декоративном растениеводстве, цветоводстве открытого грунта, цветочном оформлении территории [2–6].

Ассортимент имеющихся растений дополнен видами, внесенными в Красную книгу России, в частности, из коллекций ботанических садов и дендрариев. Для озеленения территории объекта проектирования были применены сорта селекции ФГБНУ «Федеральный научный центр им. И.В. Мичурина», в работе учитывались рекомендации использовать флору дубрав городского округа Воронеж, инновационные композиции составлялись с учетом требований ГОСТ 25769–83, ГОСТ 28329–89 [4–11].

Была изучена связь между морфологией посадки деревьев, особенностями морфогенеза травянистых растений и их трансформаций в различных условиях среды. Степень достоверности полученных результатов подтверждена многолетними, комплексными, многофакторными экспериментальными исследованиями [12–22].

Территория ДТДиМ (рис. 6) востребована населением для отдыха, однако недостаточно благоустроена и озеленена. Для обеспечения полного соответствия требованиям населения следует выполнить ландшафтный анализ, в том числе санитарно-гигиеническую и эстетическую оценки территории, оценку состояния насаждений, газонов, цветников, дорог, определить тип пространственной структуры. Далее на основании полученных данных — разработать функциональное зонирование объекта и рекомендовать

мероприятия по озеленению и благоустройству, уходу и содержанию территории.

Состояние насаждений объекта оценивали по следующим критериям: «хорошее» — деревья здоровые, с развитой кроной; «удовлетворительное» — деревья условно здоровые; «неудовлетворительное» — деревья больные, крона слабо развита или изрежена [23].

Санитарно-гигиеническая оценка включает в себя характеристику микроклимата, способность насаждений продуцировать кислород, обогащать среду фитонцидами и ионизировать воздух. Основными показателями санитарно-гигиенической оценки являются следующие:

- 1) кислородная продуктивность;
- 2) способность обогащать среду фитонцидами;
- 3) ионизирующая и газоочищающая способность.

По этим показателям можно определить сумму коэффициентов и соответствующий ему класс санитарно-гигиенической оценки [24].

Эстетическая оценка устанавливается по визуально-сравнительным данным и определяется следующими показателями [25]:

- состояние насаждений, соотношение плоскостных и объемных элементов, водных поверхностей, архитектуры как наиболее важные факторы — 30 баллов;
- насыщенность, уникальность, глубина перспектив видовых точек — 10 баллов;
- рельеф и его геопластика — экспозиция склонов — 5 баллов;
- почвенно-растительный покров — 5 баллов.

Огромное внимание уделяется определению стилевого направления развития территории

объекта. Для данного объекта характерна регулярная планировка у главного входа в здание (главная ось симметрической композиции с использованием геометрических построений) и пейзажное построение композиций прилегающей территории.

Результаты и обсуждение

По системе озеленения все объекты подразделяются по территориальному признаку и функциональному назначению. По территориальному признаку ДТДиМ относится к внутригородским объектам, по функциональному назначению — к объектам ограниченного пользования. Территория «Литературного парка» обрамлена транспортно-пешеходными дорогами с асфальтированным покрытием, а также тротуарами с плиточным покрытием. На территории непосредственно ДТДиМ расположены транспортные и пешеходные дорожки в целях удобного подхода и подъезда ко всем зданиям.

Территория ДТДиМ и прилегающего к нему «Литературного парка» является пространственной структурой полуоткрытого типа, так как здесь имеются полуоткрытые пространства в виде групповых посадок с куртинным расположением насаждений. Открытые пространства представлены площадками перед зданиями, дорожками, газонами и цветниками. По санитарно-гигиенической оценке, территория объекта принадлежит второму классу, поскольку отличается сравнительно хорошим санитарным состоянием, незначительной захлапленностью, некоторой загрязненностью воздуха, периодическим шумом. По эстетической оценке объект оценивается в 32 балла при максимуме — 50 баллов.

В пределах ДТДиМ проведена визуальная оценка состояния деревьев по сумме основных биоморфологических признаков, в частности по густоте кроны, по ее облиственности или охвоенности, соответствию размеров и цвету листьев или хвои и приросту побегов, нормальным для данных видов и данного возраста деревьев, наличию или отсутствию отклонений в строении ствола, кроны, ветвей и побегов, суховершинности или наличию и доле сухих ветвей в кроне, целостности и состоянию коры и луба [26].

На изучаемой территории произрастают следующие виды деревьев и кустарников: вяз гладкий (*Ulmus laevis*), рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia*), слива домашняя (обыкновенная) (*Prunus domestica* L.), тополь белый (*Pópulus álba*), тополь черный (*Populus nigra* L.), береза повислая (*Bétula péndula*), ива ломкая (*Salix fragilis*), ива белая (*Salix álba*), катальпа бигнониевидная (*Catalpa bignonioides*), конский каштан обыкновенный (*Aesculus hippocstanum*), ясень обыкновенный

(*Fraxinus excelsior*), клен остролистный (*Acer platanoides*), ель европейская (*Picea abies* (L.)), вейгела цветущая (*Weigela florida*), сирень обыкновенная (*Syringa vulgaris*), роза собачья (*Rosa canína*), магония падуболистная (*Mahonia aquifolium*), можжевельник казацкий (*Juníperus sabína*), желтая акация (*Caragána arboréscens*), сумах оленерогий (*Rhus typhina*), чубушник вечнозеленый (*Philadélphus coronaryius*). Оценка распределения деревьев по категориям состояния приведена в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Распределение деревьев по категориям состояния
Distribution of trees by state categories

Порода	Диаметр ствола, на высоте 1,3 м	Категория состояния, шт.			
		«хорошее»		«удовлетворительное»	
		1	2	3	4
Вяз гладкий	12	6	7	2	1
Рябина обыкновенная	8	8	3	–	–
Слива обыкновенная	8	–	2	–	–
Тополь белый	44	1	2	–	–
Тополь черный	24	14	10	3	2
Береза повислая	18	7	3	–	–
Ель европейская	12	8	1	1	–
Ива ломкая	22	–	1	–	–
Ива белая	26	–	–	1	–
Ясень обыкновенный	18	3	2	–	–
Катальпа бигнониевидная	20	2	–	–	–
Липа мелколистная	18	1	1	–	–
Каштан конский	12	5	–	–	–
Итого:		87		10	
Процент:		89,7		10,3	

Из табл. 1 видно, что на территории объекта произрастает 89,7 % деревьев в хорошем состоянии и 10,3 % в удовлетворительном. Деревьев, нуждающихся в вырубке, на объекте не выявлено. Однако деревья, находящиеся в удовлетворительном состоянии, нуждаются в защитных мероприятиях: удалении сухих и пораженных болезнями побегов и ветвей, специализированных химических обработках инсектицидами и фунгицидами, лечении ран и дупел, санитарной и формовочной обрезке кроны. Деревьев в неудовлетворительном состоянии нет.

Состояние цветников, расположенных около здания ДТДиМ, оценивается как удовлетворительное — в цветнике имеются увядшие части растений, контуры обозначены не четко. Поверхность грубо спланирована, с заметными неровностями,



Рис. 7. Цветники на территории Дворца творчества детей и молодежи г. Воронежа

Fig. 7. Flower gardens on the territory of the Palace of Creativity for Children and Youth in Voronezh



Рис. 8. Озеленение территории Дворца творчества детей и молодежи

Fig. 8. Landscaping of the territory of the Palace of Creativity for Children and Youth



Рис. 9. Цветочное оформление территории Дворца творчества детей и молодежи г. Воронежа

Fig. 9. Floral decoration of the territory of the Palace of Creativity for Children and Youth in Voronezh

растения развиты нормально. Отпад незначительный, нежелательная растительность единична (до 10 % площади). Состояние четырех цветников (рис. 7), расположенных по оси территории в специально отведенных под них участках площадью по 25 м², оценивается как «неудовлетворительное», поскольку цветочные растения в них отсутствуют, контуры их размыты, присутствует нежелательная растительность (более 10 % площади).

Цветники занимают менее 1 % площади ДТДиМ, что не соответствует рекомендациям, в которых под цветники необходимо выделить не менее 1 % общей площади объекта. Газон на территории объекта находится в неудовлетворительном состоянии — травянистый покров нерегулярно стрижется, изрежен, неоднороден, присутствуют мох и другая нежелательная растительность, в окраске преобладают желтые оттенки, имеются массовые «протопы» и «проплешины», площадь проективного покрытия менее 75 %. Под газон с насаждениями рекомендуется отводить 39 % [27], а на исследуемой территории эти элементы занимают 30 % общей площади территории (рис. 8).

Оценка состояния плоскостных сооружений заключается в выявлении недостатков планировки и повреждений бортового камня и покрытий. Состояние дорог и площадок неудовлетворительное — планировка дорожного полотна нарушена, просадки и выбоины составляют более 15 %, в них наблюдается застой дождевой воды, дорожки с мягким покрытием заросли нежелательной растительностью.

Рекреационная оценка объекта соответствует 2 баллам. Это свидетельствует о том, что ландшафтные показатели участка хорошие, однако отдельные компоненты требуют проведения восстановительных мероприятий по улучшению условий для отдыха. Кроме того, в некоторых направлениях ограничено передвижение. Цветочное оформление после проведения реконструкции с учетом рекомендаций приведено на рис. 9.

Состояние территории ДТДиМ в целом удовлетворительное, следовательно, необходимо рекомендовать мероприятия по ее озеленению и благоустройству для повышения эстетической и санитарно-гигиенической оценок, декоративных качеств и рекреационной привлекательности.

На основе выполненного ландшафтного анализа разработано функциональное зонирование, заключающееся в определении состава, местоположения, площади, конфигурации и линейных размеров основных функциональных зон территории [28]. В результате выделены зона отдыха, представленная площадкой около входа в здание (10 %), прогулочная (38 %), детская (площадка 4,5 %), спортивная (45 %) и хозяйственная зоны (2,5 %).

Т а б л и ц а 2

**Ассортимент растений, рекомендуемых для озеленения территории
Дворца творчества детей и молодежи г. Воронежа**
**Assortment of plants recommended for landscaping the territory of the Palace of Creativity
for Children and Youth in Voronezh**

Вид	Площадь озеленения, м ²	Количество растений, шт.			Вид посадки
		деревья	кустарники	цветы	
Ель обыкновенная (свето- и среднетребовательная к увлажнению почвы)	32	8	–	–	Ландшафтная группа, солитер
Рябина обыкновенная (полутеневыносливая, среднетребовательная к увлажнению почвы)	56	14	–	–	Ландшафтная группа, рядовая посадка
Клен остролистный (светолюбивый, среднетребовательный к увлажнению почвы)	12	3	–	–	Рядовая посадка, солитер
Акация желтая (светолюбивая, среднетребовательная к увлажнению почвы)	20	4	–	–	Ландшафтная группа, солитер
Липа мелколистная (светолюбивая, среднетребовательная к увлажнению почвы)	64	13	–	–	То же
Катальпа бигониевидная (светолюбивая, среднетребовательная к увлажнению почвы)	72	18	–	–	Рядовая посадка
Туя западная (теневыносливая, нетребовательная к увлажнению почвы)	30	6	–	–	Солитер
Скучпия кожвенная (светолюбивая, нетребовательная к увлажнению почвы)	24	–	6	–	Ландшафтная группа, солитер
Можжевельник казацкий (светолюбивый, нетребовательный к увлажнению почвы)	6	–	3	–	Ландшафтная группа
Пузыреплодник калинолистный (теневыносливый, среднетребовательный к увлажнению почвы)	105	–	21	–	Ландшафтная группа, рядовая посадка
Чубушник венечный (полутеневыносливый, среднетребовательный к увлажнению почвы)	80	–	32	–	Живая изгородь
Сирень венгерская (теневынослива, среднетребовательна к увлажнению почвы)	64	–	16	–	Ландшафтная группа, рядовая посадка
Форзиция яйцевидная (полутеневыносливая, нетребовательная к увлажнению почвы)	48	–	16	–	Рядовая посадка
Спирея японская (светолюбивая, среднетребовательная к увлажнению почвы)	15	–	5	–	Ландшафтная группа
Дерен белый (полутеневыносливый, среднетребовательный к увлажнению почвы)	4	–	4	–	Ландшафтная группа
Лаванда узколистная (светолюбивая, среднетребовательная к увлажнению почвы)	8	–	16	–	Ландшафтная группа, рядовая посадка
Роза чайно-гибридная (светолюбивая, среднетребовательная к увлажнению почвы)	5	–	–	8	Ландшафтная группа
Всего:	646	66	119	8	

Особое внимание необходимо уделить озеленению, так как именно насаждения будут не только повышать эстетическую оценку, но и экологические свойства как объекта, так и прилегающей территории.

Для озеленения выбраны хвойные и лиственные виды деревьев и кустарников, устойчивые к господствующим климатическим и экологическим условиям, а также виды с высокими декоративными свойствами (табл. 2).

На территории объекта рекомендуются посадки в виде солитеров, ландшафтных групп, живой изгороди и рядовых посадок. Рекомендуется посадка следующих ландшафтных групп: сирень венгерская, спирея японская и можжевельник; ель обыкновенная и дерен белый. В результате озеленения территории озелененность увеличится и составит 39 %, что соответствует рекомендуемым нормам.

Панорама ДТДиМ и Воронежского водохранилища приведена на рис. 10.



Рис. 10. Панорама Дворца творчества детей и молодежи г. Воронежа и Воронежского водохранилища

Fig. 10. Panorama of the Palace of Creativity for Children and Youth in Voronezh and the Voronezh Reservoir



Экспликация к генеральному плану

1 – Входная группа	6 – Каскадный ручей	11 – Улица им. Платонова	16 – Улица им. Кораблинова
2 – Общественное питание	7 – Музей-библиотека	12 – Улица им. Никитина	17 – Карусель 12 месяцев
3 – Беседка	8 – Трибуны-беседки	13 – Площадь им. Кольцова	
4 – Дискуссионный павильон	9 – Площадь им. Бунина	14 – Улица им. Крылова	
5 – Литературное кафе	10 – Улица им. Маршака	15 – Улица им. Тропольского	

Рис. 11. Проект литературного сквера на территории Дворца творчества детей и молодежи г. Воронежа

Fig. 11. The project of a literary square on the territory of the Palace of Creativity for Children and Youth in Voronezh

Для цветников рекомендуются как однолетние, так и многолетние цветочные растения, отличающиеся разнообразием окраски, высокой декоративностью, длительным цветением, устойчивостью к неблагоприятным факторам. В качестве однолетников следует посадить различные сорта петунии гибридной (*Petunia x hybrida*),

отличающиеся большим разнообразием окраски соцветий, степенью их махровости, сорта колеуса гибридного (*Coleus x hybrida*), тагетесов (*Tagetes erecta 'Antigua'*), портулака крупноцветкового (*Portulaca grandiflora*), цинерарии приморской (*Cineraria maritima*), бегонии вечноцветущей (*Begonia semperflorens*). Из многолет-

ников предлагается посадка астильбы (*Astilbe*), хост (*Hosta*) — волнистой, Зибольда, Форчуна, бадана (*badan*), которые хорошо произрастают в полутени. Для открытых солнечных мест можно использовать астры, пионы, мускари, монарду. Для цветников на солнечных участках хороша композиция из туи западной «Смарагд» и петунии гибридной красного и белого оттенков. Проект литературного сквера на территории ДТДиМ г. Воронежа представлен на рис. 11.

Для сохранения декоративных качеств объекта необходимо провести мероприятия по содержанию и уходу. Правильный уход за деревьями, кустарниками и цветочными растениями включает в себя полив, внесение удобрений, рыхление и мульчирование почвы, борьбу с сорняками, вредителями и болезнями, устранение дупел и механических повреждений на деревьях, создание укрытия на зиму (при необходимости) и опор для растений, выполнение обрезок.

При этом важны мероприятия по благоустройству территории, включающие в себя реконструкцию дорожного покрытия, подпорных стенок, ступеней, установку малых архитектурных форм: скамеек (12 шт.) и урн (16 шт.) вдоль главной дороги, ведущей к входу в ДТДиМ.

Подбирая ассортимент растений для озеленения исследуемого объекта, неотъемлемым этапом при реализации различных приемов с использованием древесной и кустарниковой растительности является создание композиций, структурирование пространства, придание требуемых параметров и характера эстетической выразительности. Все принципы и приемы озеленения должны быть связаны со спецификой объекта и в тоже время составлять единую композицию. Озеленение и благоустройство повысят качество отдыха, обеспечат сохранение территории, снизят степень отрицательного экологического воздействия не только на объект, но и на прилегающие территории.

Выводы

1. Ландшафтная организация территорий объектов культурно-бытового назначения на примере Дворца творчества детей и молодежи в г. Воронеж является примером уникальной и рациональной структуры озеленения и благоустройства, широкого ассортимента древесной и кустарниковой растительности, цветочного оформления, включая растения Красной книги России, находящиеся в коллекциях ботанических садов и дендрариев.

2. На основе выполненного ландшафтного анализа проведено функциональное зонирование исследуемой территории с учетом ее особенностей. В результате выделены зона отдыха (48 %), детская зона (4,5 %), спортивная зона (45 %) и хозяйственная зона (2,5 %). Представленные

направления озеленения территории объекта исследования повысят озелененность до нормативного показателя — 39 %.

3. Рекомендован ассортимент декоративных древесных и кустарниковых пород, использование которого целесообразно для данных условий местопроизрастания. Обоснованы варианты типов садово-парковых насаждений, которые повысят эстетические, санитарно-гигиенические и декоративные свойства рассматриваемой территории.

4. Изучена связь между морфологией посадки деревьев, особенностей морфогенеза травянистых растений и их трансформацией в различных условиях среды. Степень достоверности полученных результатов подтверждена многолетними, комплексными, многофакторными экспериментальными исследованиями.

5. Составлен ассортимент цветочного оформления для наилучшей экспозиции территории. Использование однолетних цветочных культур позволит ежегодно иметь разнообразный цветочный рисунок. Важным этапом в сохранении и поддержании высокого уровня благоустройства и озеленения территории объекта могут быть мероприятия по содержанию и уходам за насаждениями и цветочными растениями.

Список литературы

- [1] Боговая И.О., Фурсова Л.М. Ландшафтное искусство. М.: Агропромиздат, 1988. 223 с.
- [2] Методика системных исследований лесоаграрных ландшафтов. М.: Изд-во ВАСХНИЛ, 1985. 112 с.
- [3] Галдина Т.Е., Чернодубов А.И. Инновационные технологии выращивания декоративных растений. Воронеж: Изд-во ВГЛУ, 2018. 178 с.
- [4] Растения Красной книги России в коллекциях ботанических садов и дендрариев. М.: Изд-во ГБС РАН; Тула: ИПП «Гриф и К», 2005. 144 с.
- [5] Киреева М.Ф., Пугачева Г.М., Мартынова В.В., Иванова Н.В., Кузичева О.А., Кузичев Б.А. В мире цветов. Лилии, гладиолусы, астры. Сорта селекции ВНИИС им. И.В. Мичурина. Мичуринск: Тамбовская типография «Пролетарский светоч», 2008. 128 с.
- [6] Соколова Т.А., Бочкова И.Ю. Декоративное растениеводство: Цветоводство. М.: Академия, 2004. 432 с.
- [7] Соколова Т.А. Цветоводство для открытого грунта. М.: МГУЛ, 2001. 115 с.
- [8] Соколова Т.А. Цветочное оформление. Цветовые характеристики растений и пропорции. М.: МГУЛ, 1999. 64 с.
- [9] Григорьевская А.Я., Зелепукин Д.С. Флора дубрав городского округа город Воронеж: биогеографический, экологический, природоохранный аспекты. Воронеж: Воронежская областная типография. Изд-во им. Е.А. Болховитинова, 2013. 260 с.
- [10] ГОСТ 25769–83. Саженьцы деревьев хвойных пород для озеленения городов. Технические условия от 23 июня 2009 г. М.: Росстандарт, 2009. 10 с.
- [11] ГОСТ 28329–89. Озеленение городов. Термины и определения. М.: Изд. Стандартов, 1990. 13 с.

- [12] Биоразнообразие города Воронежа / под ред. О.П. Негрובה. Воронеж: Изд-во Воронежского государственного университета, 2004. 98 с.
- [13] Кадастр особо охраняемых территорий Воронежской области / под ред. О.П. Негрובה. Воронеж: Изд-во Воронежского государственного университета, 2001. 146 с.
- [14] Правила создания, содержания и охраны зеленых насаждений города Москвы. М.: Изд-во Департамента природопользования и охраны окружающей среды, 2002. 140 с.
- [15] Инструкция по проведению инвентаризации и паспортизации городских озелененных территорий. М.: Прима М, 2002. 23 с.
- [16] Машкин С.И. Дендрология Центрального Черноземья. Систематика, кариология, география, генезис, экология и использование местных и интродуцированных деревьев и кустарников. Воронеж: Изд-во Воронежского государственного университета, 1971. 344 с.
- [17] Московские цветы и ландшафтный дизайн. Каталог. М.: Белый город, 2006. 272 с.
- [18] Карпун Ю.Н. Декоративная дендрология Северного Кавказа. СПб.: Изд-во Инновационного центра защиты растений, 2006. 392 с.
- [19] Кругляк В.В., Гурьева Е.И. Древодводство. Воронеж: Изд-во ВГЛТА, 2011. 144 с.
- [20] Shen Q., Liu Y. Exploring Association between Morphology of Tree Planting and User Activities in Urban Public Space; An opportunity of Urban Public Space Revitalisation // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 2018, v. 128, p. 012054. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/128/1/012054>
- [21] Bunio L.V., Tsvilynjuk O.M. Specific features of morphogenesis of sedge (*Carex hirta* L.) on oil-contaminated soil // Contemporary Problems of Ecology, 2015, v. 8, no. 5, pp. 660–667.
- [22] Talovskaya (Kolegova) E.B. *Thymus baicalensis* (Lamiaceae) morphological transformation under different environmental conditions // Contemporary Problems of Ecology, 2015, v. 8, no. 5, pp. 607–613.
- [23] Кругляк В.В., Карташова Н.П. Состояние насаждений в городской среде Воронежа / В. В. Кругляк // ИВУЗ Лесной журнал, 2009. № 5. С. 40–43.
- [24] Теодоронский В.С., Авсиевич Н.А., Фролова В.А., Якубов Х.Г. О качественном и количественном аспектах оценки состояния растений в городских зеленых насаждениях // Экология большого города. Проблемы содержания зеленых насаждений в условиях Москвы. Вып. 4. М.: Прима-Пресс-М, 2000. С. 29–37.
- [25] Теодоронский В.С., Жеребцова Г.П. Озеленение населенных мест. Градостроительные основы. М.: Академия, 2010. 256 с.
- [26] Кругляк В.В., Карташова Н.П. Урбоэкология и мониторинг среды. Ч. 1. Воронеж: Изд-во ВГЛТА, 2004. 71 с.
- [27] Фатиев М.М. Строительство городских объектов озеленения. М.: Форум, 2012. 204 с.
- [28] Фирсова Н.В. Эколого-градостроительный анализ состояния зеленых насаждений Воронежа // Проблемы озеленения крупных городов, 2005. Вып. 11. С. 69–71.

Сведения об авторах

Карташова Нелли Павловна [✉] — канд. с.-х. наук, доцент ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», Kartashova_73@mail.ru

Кругляк Владимир Викторович — д-р с.-х. наук, профессор ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», kruglyak_vl@mail.ru

Поступила в редакцию 19.05.2022.

Одобрено после рецензирования 11.07.2022.

Принята к публикации 17.08.2022.

LANDSCAPING OF CULTURAL AND PUBLIC AMENITIES OBJECTS

N.P. Kartashova^{1✉}, V.V. Kruglyak²

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, 8, Timiryazeva st., 39408, Voronezh, Russia

²Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, 1, Michurina st., 394087, Voronezh, Russia

Kartashova_73@mail.ru

The historical scheme of the Moscow Palace of Pioneers is analyzed. The features of the reconstruction of the territory of the Moscow Palace of Pioneers are revealed. The master plan of the territory of the palace of creativity for children and youth of the city of Voronezh is shown. The distribution of trees by state categories and life forms is given. The location of flower beds on the territory of the Palace of Creativity for Children and Youth of the city of Voronezh is presented. The range of recommended plants, their exactingness to soil moisture and types of plantings for the object of landscape organization of the territory is characterized. It has been established that planting of tapeworms, landscape groups, row plantings and hedges is recommended on the territory of the design object. The structure of the master plan of the literary park on the territory of the palace of creativity for children and youth of the city of Voronezh is determined. The place of the design object on the panorama with a view of the Voronezh reservoir is indicated.

Keywords: landscape organization, literary park, flower decoration

Suggested citation: Kartashova N.P., Kruglyak V.V. *Landshaftnaya organizatsiya territoriy ob'ektov kul'turno-bytovogo naznacheniya* [Landscaping of cultural and public amenities objects]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 5, pp. 71–82. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-5-71-82

References

- [1] Bogovaya I.O., Fursova L.M. *Landshaftnoe iskusstvo* [Landscape Design]. Moscow: Agropromizdat, 1988, 223 p.
- [2] *Metodika sistemnykh issledovaniy lesoagrarnykh landshaftov* [Methodology for systemic studies of forest agricultural landscapes]. Moscow: VASKHNIL, 1985, 112 p.
- [3] Galdina T.E., Chernodubov A.I. *Innovatsionnye tekhnologii vyrashchivaniya dekorativnykh rasteniy* [Innovative technologies for growing ornamental plants]. Voronezh: VGLTU, 2018, 178 p.
- [4] *Rasteniya Krasnoy knigi Rossii v kollektiyakh botanicheskikh sadov i dendrariyev* [Plants of the Red Book of Russia in the collections of botanical gardens and arboretums]. Moscow: GBS RAS; Tula: IPP «Grif and K», 2005, 144 p.
- [5] Kireeva M.F., Pugacheva G.M., Martynova V.V., Ivanova N.V., Kuzicheva O.A., Kuzichev B.A. *V mire tsvetov. Lili, gladiolusy, astrы. Sorta selektsii VNIIS im. I.V. Michurina* [In the world of flowers. Lilies, gladioli, asters. Varieties of the VNIIS them I.V. Michurin]. Michurinsk-Naukograd: Tambov Printing House «Proletarskiy Svetoch», 2008, 128 p.
- [6] Sokolova T.A., Bochkova I.Yu. *Dekorativnoe rastenievodstvo: Tsvetovodstvo* [Ornamental plant growing: Floriculture]. Moscow: Academy, 2004, 432 p.
- [7] Sokolova T.A. *Tsvetovodstvo dlya otkrytogo grunta* [Floriculture for open ground]. Moscow: MSFU, 2001, 115 p.
- [8] Sokolova T.A. *Tsvetochnoe oformlenie. Tsvetovye kharakteristiki rasteniy i proporsii* [Floral decoration. Color characteristics of plants and proportions]. Moscow: MSFU, 1999, 64 p.
- [9] Grigor'evskaya A. Ya., Zelepukin D.S. *Flora dubrav gorodskogo okruga gorod Voronezh: biogeograficheskiy, ekologicheskiy, prirodookhrannyy aspekty* [Flora of oak forests of the city district of Voronezh: biogeographic, ecological, nature conservation aspects]. Voronezh: Voronezh regional printing house. Publishing house im. E.A. Bolkhovitinova, 2013, 260 p.
- [10] GOST 25769–83 *Sazhentsy derev'ev khvoynykh porod dlya ozeleneniya gorodov* [Saplings of coniferous trees for landscaping cities]. Specifications of June 23, 2009. Moscow: Rosstandart, 2009, 10 p.
- [11] GOST 28329–89 *Ozelenenie gorodov. Terminy i opredeleniya* [Greening of cities. Terms and Definitions]. Moscow: Ed. Standards, 1990, 13 p.
- [12] *Bioraznobraziye goroda Voronezha* [Biodiversity of the city of Voronezh]. Ed. O.P. Negrobov. Voronezh: Voronezh State University, 2004, 98 p.
- [13] *Kadastr osobo okhranyaemykh territoriy Voronezhskoy oblasti* [Cadastre of Specially Protected Areas of the Voronezh Region]. Ed. O.P. Negrobov. Voronezh: Voronezh State University, 2001, 146 p.
- [14] *Pravila sozdaniya, soderzhaniya i okhrany zelenykh nasazhdeniy goroda Moskvy* [Rules for the creation, maintenance and protection of green spaces in the city of Moscow]. Moscow: Department of Nature Management and Environmental Protection, 2002, 140 p.
- [15] *Instruktsiya po provedeniyu inventarizatsii i pasportizatsii gorodskikh ozelenennykh territoriy* [Instructions for inventory and certification of urban green areas]. Moscow: Prima M, 2002, 23 p.
- [16] Mashkin S.I. *Dendrologiya Tsentral'nogo Chernozem'ya. Sistematika, kariologiya, geografiya, genezis, ekologiya i ispol'zovanie mestnykh i introdutsirovannykh derev'ev i kustarnikov* [Dendrology of the Central Black Earth Region. Taxonomy, karyology, geography, genesis, ecology and the use of native and introduced trees and shrubs]. Voronezh: Voronezh State University, 1971, 344 p.
- [17] *Moskovskie tsvety i landshaftnyy dizayn. Katalog* [Moscow flowers and landscape design. Catalog]. Moscow: Bely Gorod, 2006, 272 p.
- [18] Karpun Yu.N. *Dekorativnaya dendrologiya Severnogo Kavkaza* [Decorative dendrology of the North Caucasus]. St. Petersburg: Innovation center for plant protection, 2006, 392 p.
- [19] Kruglyak V.V., Gur'eva E.I. *Drevovodstvo* [Tree breeding]. Voronezh: VGLTA, 2011, 144 p.

- [20] Shen Q., Liu Y. Exploring Association between Morphology of Tree Planting and User Activities in Urban Public Space; An opportunity of Urban Public Space Revitalisation. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 2018, v. 128, p. 012054. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/128/1/012054>
- [21] Bunio L.V., Tsvilynjuk O.M. Specific features of morphogenesis of sedge (*Carex hirta* L.) on oil-contaminated soil. Contemporary Problems of Ecology, 2015, v. 8, no. 5, pp. 660–667.
- [22] Talovskaya (Kolegova) E.B. *Thymus baicalensis* (Lamiaceae) morphological transformation under different environmental conditions. Contemporary Problems of Ecology, 2015, v. 8, no. 5, pp. 607–613.
- [23] Kruglyak V.V., Kartashova N.P. *Sostoyanie nasazhdeniy v gorodskoy srede Voronezha* [Condition of plantings in the urban environment of Voronezh] *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2009, no. 5, pp. 40–43.
- [24] Teodoronskiy V.S., Avsievich N.A., Frolova V.A., Yakubov Kh.G. *O kachestvennom i kolichestvennom aspektakh otsenki sostoyaniya rasteniy v gorodskikh zelenykh nasazhdeniyakh* [About the qualitative and quantitative aspects of assessing the state of plants in urban green areas]. *Ekologiya bol'shogo goroda. Problemy soderzhaniya zelenykh nasazhdeniy v usloviyakh Moskvy* [Ecology of a big city. Problems of maintenance of green spaces in Moscow]. Moscow: Prima-Press-M, 2000, iss. 4, pp. 29–37.
- [25] Teodoronskiy V.S., Zherebtsova G.P. *Ozelenenie naseleennykh mest. Gradostroitel'nye osnovy* [Greening populated areas. Town building foundations]. Moscow: Academy, 2010, 256 p.
- [26] Kruglyak V.V., Kartashova N.P. *Urboekologiya i monitoring sredy* [Urban ecology and environmental monitoring]. P. 1. Voronezh: VGLTA, 2004, 71 p.
- [27] Fatiev M.M. *Stroitel'stvo gorodskikh ob'ektov ozeleneniya* [Construction of urban landscaping facilities]. Moscow: Forum, 2012, 204 p.
- [28] Firsova N.V. *Ekologo-gradostroitel'nyy analiz sostoyaniya zelenykh nasazhdeniy Voronezha* [Environmental and urban planning analysis of the state of green plantations Voronezh]. *Problemy ozeleneniya krupnykh gorodov* [Problems landscaping large cities]. Moscow: Prima-M, 2005, v. 11, pp. 69–71.

Authors' information

Kartashova Nelly Pavlovna  — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Kartashova_73@mail.ru

Kruglyak Vladimir Viktorovich — Dr. Sci. (Agriculture), Professor of the Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, kruglyak_vl@mail.ru

Received 19.05.2022.

Approved after review 11.07.2022.

Accepted for publication 17.08.2022.

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

ВЛИЯНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗМЕЩЕНИЯ ДЕРЕВЬЕВ НА ПЛАНТАЦИЯХ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ВЫБОРОЧНЫХ РУБОК

Ю.А. Ширнин✉, А.Ю. Ширнин

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

ShirninYA@volgatech.net

Изложен анализ пространственного размещения посадочного материала в разных регионах при плантационном лесовыращивании в разрезе геометрических параметров древостоя. Предложена схема выращивания и заготовки лесоматериалов на плантациях. Выявлены параметры древостоя, влияющие на безущербную выборочную рубку оставляемых на дорастивание особей. Обоснована возможность использования лесозаготовительных машин в существующих форматах плантационных насаждений. Сформулированы требования к результатам каждого этапа лесовыращивания. Приведены методика и расчеты средних линейных и угловых параметров выборочной валки деревьев. Предложен запатентованный способ выборочных рубок и рубок ухода за лесом машинами на возобновленных искусственным путем лесных площадях.

Ключевые слова: лесная плантация, пространственное размещение деревьев, ущерб оставляемым на дорастивание деревьям, лесосечные машины, схемы валки деревьев, способ выборочных рубок ухода за лесом машинами

Ссылка для цитирования: Ширнин Ю.А., Ширнин А.Ю. Влияние пространственного размещения деревьев на плантациях на технологические параметры выборочных рубок // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 5. С. 83–92. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-5-83-92

Результаты работы лесозаготовительных машин зависят от многих факторов. Однако для установления норм выработки многие фирмы — изготовители машин рекомендуют только два, безусловно значимых, параметра: средний объем ствола дерева и запас леса на 1 га площади лесосеки. Некоторые фирмы дают рекомендации по снижению норм выработки при проведении выборочных рубок разной интенсивности. Рассмотрим проблему оценки влияния пространственного размещения деревьев на технологию выборочных рубок на лесных плантациях.

Объект исследования

Учеными проведены исследования степени влияния на результаты функционирования машин формы размещения деревьев по площади лесосеки. Так, в работе [1] рассматривается равномерное (случайное) размещение деревьев по площади лесосеки и на этом основании предлагаются математические модели [1, 2], описывающие динамику таксационных показателей для расчета параметров лесозаготовок. При этом было учтено изменение численности деревьев на единицу площади с изменением возраста древостоев естественного происхождения. Авторы работы [3] изучили вопрос доступности деревьев на плантациях при машинной валке выборочным способом с учетом длины вылета манипулятора.

При искусственном лесовосстановлении есть возможность упорядочить размещение саженцев или семян на площади и таким образом создать условия для повышения эффективности работы лесозаготовительных машин. Искусственное лесовыращивание изначально предусматривает закладку рациональной технологии сбора лесного урожая, т. е. заготовку лесоматериалов. Растениеводство предполагает не только посадку, выращивание, но и сбор урожая. Однако в лесном хозяйстве все обстоит иначе.

Весьма разноречивые результаты изложены в публикациях, посвященных рациональному количеству саженцев, высаживаемых на плантациях на единицу площади. Так, по данным работы [4], в Финляндии рекомендуемая густота посадки в культурах сосны составляет 2 тыс. шт./га. На северо-западе России рекомендуется густота посадки не менее 3 тыс. шт./га.

Группа российских и финских ученых [5] рекомендует для северо-запада России густоту посадки сосны в тыс. шт./га для следующих групп типов леса: 5...6 (лишайниковая); 3,5...4,0 (брусничная); 4,0...4,5 (черничная); 3,0...4,0 (долгомошная). Расстояние между рядами культур сосны 3...4 м. При использовании двухрядных почвообрабатывающих орудий ширина узких междурядий может снижаться до 1,4...2,0 м.

В Италии при выращивании тополя для целлюлозно-бумажного производства применяют схему посадки 5–6, 6–6, 5–7 м [6].

Т а б л и ц а 1

Характеристики рассматриваемых вариантов посадки и средних параметров древостоев
Characteristics of considered planting options and average stand parameters

Вариант	Площадь питания одного дерева, м ²	Расстояние, м		Густота, шт./га	Средняя высота древостоев, м	Средний диаметр, см на высоте 1,3 м	Длина части ствола с кроной, м	Площадь проекции кроны на горизонтальную плоскость, м ²
		Между рядами	Между деревьями					
1	21,90	5,1	4,3	460	11	18	6,6	10
2	10,40	3,28	3,17	960	Нет данных			
3	3,70	3,14	1,18	2760	9	14	3,78	7
4	2,22	3,27	0,68	4500	Нет данных			
5	0,90	1,5	0,62	10750	Нет данных			
При 2-х рядном размещении культур								
6	2,36	1,2	0,55	3831	16,7	15,9	Нет данных	

Высказано мнение относительно регулирования численности древостоев искусственного происхождения [7]. Автор этой работы предлагает создать сосновые культуры с шагом посадки и шириной междурядий 1,5 м, а первый уход провести в возрасте 25–30 лет путем сплошной вырубki каждого 20-го ряда под технологические коридоры при равномерном изреживании по всей площади.

Двухрядное размещение культур и полосы междурядья (табл. 1) представлено в работах [8, 9]. Комментируя представленный материал, авторы утверждают, что результаты опытов свидетельствуют о необходимости проведения не только более раннего интенсивного изреживания загущенных лесных культур в борах Республики Марий Эл, но и повторения этого мероприятия спустя 10...15 лет. Целесообразнее же в этих условиях снижать исходную густоту культур до 3...5 тыс. шт./га. Обеспечить интенсивный прирост древесины и избежать нерентабельных рубок ухода в культурах сосны можно лишь при их исходной густоте менее 3 тыс. шт./га. В табл. 1 (варианты 1–5) представлена широкая палитра вариантов посадки культур на опытных объектах Татарской лесной опытной станции. Внимания заслуживают схемы посадки, в которых представлены размеры между рядами культур в пределах от 1,5 м до 5,1 м и между деревьями в рядах в пределах от 0,62 м до 4,3 м. Вариант 5 посадки не был опытным, поэтому логично предположить, что он носил в тот период массовый характер с заданной густотой посадки не менее 10 тыс. шт./га по схеме 1,5 м на 0,62 м.

Отметим, что исследователи не связывают формат посадки и численность саженцев, высаживаемых на плантациях на единицу площади, с технологией лесозаготовок при проведении необходимых приемов рубок для получения качественных лесоматериалов. Основным параме-

тром, влияющим на результативное выращивание культур, по мнению лесоводов, является густота древостоя. На его регулирование направлены варианты изреживания, предлагаемые в работах [8–13].

Процессы выращивания и заготовки лесоматериалов на плантациях следует рассматривать в едином технологическом цикле (рис. 1). Нами [14–18] затронуты проблемы, возникающие при проведении выборочных рубок леса на плантациях.

По нашему убеждению, изреживания должны проводиться также и в целях доступа рабочих органов лесозаготовительных машин к стволу дерева при проведении последующих выборочных рубок без нанесения существенного ущерба остающимся на доращивание деревьям. Выше изложенный анализ практикуемых форматов посадки саженцев осуществляется без учета последующих рубок ухода за лесом, что подтверждает актуальность темы исследования.

Цель работы

Цель работы — обоснование степени влияния пространственного размещения деревьев на плантациях на технологические параметры выборочных рубок лесозаготовительными машинами.

Решаемые задачи

Обоснование возможностей использования лесозаготовительных машин в существующих форматах выращивания плантационных насаждений. Проблема использования машинной валки деревьев заключается в технической возможности захвата комлевой части ствола. Габариты захватно-срезающих устройств многих лесозаготовительных машин не позволяют обрабатывать деревья в 1-й прием рубок вследствие близкого расположения стоящих рядом деревьев. Безущербная валка деревьев возможна при



Рис. 1. Схема выращивания и заготовки лесоматериалов на плантациях
 Fig. 1. Scheme of growing and harvesting timber on plantations

достаточном изреживании первичного древостоя плантационного насаждения. Лучшими для таких условий будут системы, сформированные на базе валочно-пакетирующей машины (ВПМ), которая должна быть оборудована грузонесущим манипулятором, обеспечивающим вынос дерева из насаждения в вертикальном положении [3]. При этом нет необходимости в манипуляторе со значительном вылетом. Достаточно, чтобы вылет был больше половины ширины междурядья. Обрезка сучьев и раскряжевка хлыстов после работы ВПМ может осуществляться бензопилой или сучкорезно-раскряжевочной машиной на полосе междурядья с укладкой сучьев на полосу волока. Трелевка сортиментов — форвардером.

Ширина захватно-срезающих механизмов лесозаготовительных машин составляет 1,19...1,5 м, а ширина самих машин — 1,97...3,0 м [16]. Самый компактный трехосный харвестер Komatsu 901TX.1 имеет ширину 2760 мм и вылет манипулятора до 10 м с шириной харвестерной головки 1190 мм. Его можно применять на плантациях с шагом посадки не менее 0,6 м и шириной междурядья не менее 3 м (см. табл. 1, вариант 4). Сравнивая габариты машин и их рабочих органов с вариантами посадки (см. табл. 1), приходим к некоторым выводам.

Применение машинной валки деревьев возможно при варианте 1 посадки и ограничено — при вариантах 2–4. Расстояние между деревьями не дает возможности применять на валке деревьев лесозаготовительные машины при вариантах 4–6 посадки. Ширина трелевочных тракторов и трелевочных машин при сравнении с расстояниями между рядами ограничивает их применение при вариантах 2–4 посадки. В вариантах 4–6 посадки

разреживания возможны с использованием бензопил либо кусторезов при возрасте посадок до 10 лет. Вариант 5 изначально предполагает линейное разреживание (осветление) целыми рядами.

Анализ параметров древостоя, влияющих на безущербную выборочную рубку оставляемых на доращивание особей. В процессе прогнозирования характеристик оставляемого на доращивание древостоя на период каждой рубки необходимы следующие параметры: среднее расстояние между деревьями; средний диаметр в комле; средняя высота древостоя; средняя высота без сучковой зоны ствола; средняя ширина междурядья. Сроки проведения рубок ухода определяют прогноз получения высоты и полноты древостоя, которые, в конечном счете, влияют на технологические параметры лесосечных работ. Вместе с перечисленными параметрами следует представить во времени анализ динамики пространственного размещения культур и ее трансформацию в соответствии с проводимыми рубками ухода. Это даст возможность правильно выбирать технологическую схему и систему машин для выборочных рубок и достигнуть баланса между получением определенного объема древесного урожая за период оборота рубки и рациональной технологией его заготовки.

Требования к технологии выборочных рубок леса на плантациях. Рациональное расположение деревьев относительно друг друга надо обосновать не только с точки зрения максимального прироста, но и с позиций их доступности для валки и дальнейшей обработки. Рекомендуются следующие требования к технологии выборочных рубок леса на плантациях, обеспечивающие достижение поставленных целей:

- минимизация ущерба оставляемым на доращивание особям;
- сохранение условий безопасной и эффективной работы машин и оборудования;
- обеспечение требуемого качества заготавливаемых лесоматериалов (трелевка сортиментов рекомендуется в погруженном положении форвардером).

Изложенные требования повлекут за собой дополнительные затраты времени при выполнении элементов технологических операций, которые следует выполнять в строгой последовательности, аккуратно. Конкретные затраты времени на выполнение элементов технологических операций по сравнению с работой машин в обычных условиях следует получить в результате хронометражных наблюдений.

Материалы и методы

Схема взаимного расположения деревьев в рядах и в междурядье представлена на рис. 2. Существенными характеристиками представленной схемы являются следующие:

- 1) сомкнувшиеся кроны в рядах;
- 2) высота древостоя значительно превышает ширину междурядья b ;
- 3) расстояние между стволами деревьев b_d меньше половины ширины захватно-срезающих устройств лесозаготовительных машин.

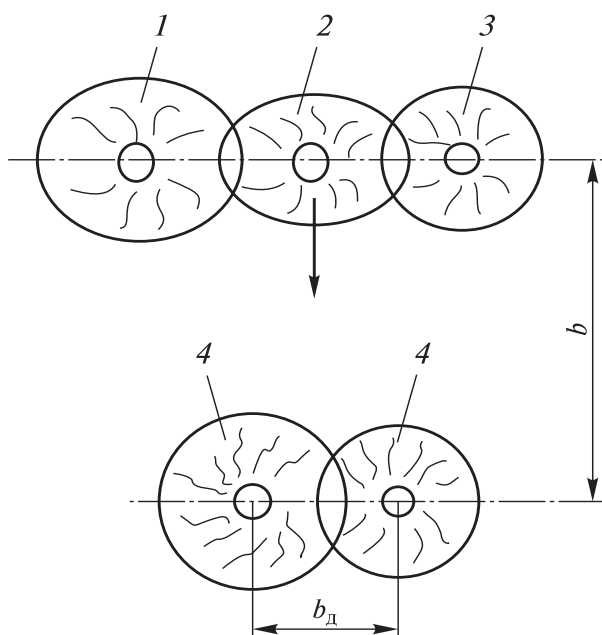


Рис. 2. Схема взаимного расположения деревьев в рядах и в междурядье: b — ширина междурядья; b_d — расстояние между деревьями (шаг посадки); 1, 2, 3 — деревья i -го ряда; 4 — деревья $(i + 1)$ -го ряда

Fig. 2. Scheme of the mutual arrangement of trees in the rows and in the aisle: b — the width of the aisle; b_d — distance between trees (planting step); 1, 2, 3 — trees of the i -th row; 4 — trees of the $(i + 1)$ -th row

Допустим, что дерево 2 подлежит рубке. При проведении выборочной рубки необходимо свалить дерево 2 так, чтобы свести к минимуму ущерб оставляемым на доращивание особям 1, 3, 4. Минимальный ущерб деревьям 1, 3 будет при валке дерева 2 в направлении, перпендикулярном оси ряда (показано стрелкой). При этом если высота древостоя значительно превышает ширину междурядья, существует реальный риск падения вершины на крону дерева 4 соседнего ряда и зависание дерева 2 со всеми вытекающим из этого последствиями. Изменение направления валки влево или вправо не приведет к желаемому результату по причине малой величины междурядья и риска нанесения ущерба кронам деревьев 1 и 3. Возникает вопрос: при каких значениях b и b_d возможно выполнение условий выборочной рубки?

Результаты и обсуждение

Допускаем динамику развития искусственных насаждений, близкую развитию аналогичного насаждения естественного происхождения. Методика прогнозирования нормативов лесопользования на каждый период разреживания древостоя естественного происхождения изложена в работе [19]. В отсутствие прогнозных параметров развития древостоя искусственного насаждения воспользуемся таблицами хода роста насаждения естественного происхождения [20]. Для примера возьмем данные по сосне, бонитет 1а, по четырем возрастным периодам 10, 20, 30 и 40 лет (табл. 2).

В периоды: с 10 до 20 лет число деревьев на 1 га за счет отпада уменьшилось на 6202 шт.; с 20 до 30 лет — 1681 шт.; с 30 до 40 лет — на 731 шт. Таким образом, «безжалостная» природа делает свой жестокий естественный отбор. Причем этот отбор не всегда идет на пользу цивилизованному сообществу. Имеется в виду, что оставшиеся на доращивание особи не займут в пространстве положение, удобное для их заготовки в очередной прием рубки, т. е. в искусственных насаждениях это следует сделать целенаправленно в процессе рубок ухода.

Данные № 4 получены путем деления площади 1 га на число деревьев. Другие параметры вычислены в табл. 2 с помощью известных соотношений. В частности, диаметр ствола в месте срезания дерева при валке (№ 2₀) определяется по формуле [21, 22]

$$d_0 = f d_{1,3}, \quad (1)$$

где $d_{1,3}$ — диаметр ствола дерева на высоте 1,3 м; f — коэффициент формы ствола (зависит от породы и места произрастания): для ели, лиственницы, дуба — 1,4, сосны, кедр, пихты, бука — 1,25, березы, липы, ясени, осины — 1,1.

Т а б л и ц а 2

**Расчетные средние параметры древостоя сосны, бонитет 1а
по четырем возрастным периодам 10, 20, 30 и 40 лет**

Estimated average parameters of a pine forest stand, quality class 1a
for four age periods of 10, 20, 30 and 40 years

Номер по порядку	Параметр	Возраст древостоя, лет				
		10	20	30	40	
1	Средняя высота, м	4,9	10,2	14,9	19	
2	Средний диаметр ствола, см на высоте 1,3 м, $d_{1,3}$ в комле, d_0	4,3	9,3	14,1	18,8	
2 _а		5,37	11,8	17,9	23,9	
3	Число деревьев на 1 га	10061	3859	2178	1447	
4	Площадь на одно дерево, м ²	0,99	2,59	4,59	6,91	
5	Расстояние между деревьями при расстояниях между рядами, м	7	0,14	0,37	0,65	0,99
5 _а		5	0,19	0,52	0,92	1,38
5 _в		3	0,33	0,86	1,53	2,3
6	Крона, м	6 _а	1,47	3,06	4,47	5,7
6 _б		0,44	0,92	1,34	1,715	
7	Высота без сучковой зоны, м	3,43	7,65	11,18	14,26	

Протяженность (№ 6_а) и диаметр (№ 6_б) кроны определяются соответственно по формулам [21]:

$$H_k = \psi_1 H = 0,3H; \quad (2)$$

$$D_k = \psi_2 H_k = 0,3H_k, \quad (3)$$

где ψ_1 , ψ_2 — коэффициенты пропорциональности между высотами соответственно кроны и дерева (ψ_1), диаметром и высотой кроны (ψ_2).

Нанесение минимального ущерба соседнему дереву возможно при валке деревьев бензопилой под углом, близким 90°. Однако при этом вершина упавшего дерева может нанести ущерб деревьям, расположенным на противоположной стороне полосы междурядья. Для того чтобы этого избежать, деревья при валке следует укладывать на междурядье под углом между минимальным α_1 и максимальным α_2 углами валки предназначенных в рубку деревьев. Угол α_1 зависит от диаметра дерева в комле — подлежащего валке и рядом стоящего, а также от диаметров их крон. При этом максимальный угол α_2 между направлением междурядья и поваленными деревьями зависит от высоты древостоя H и ширины полосы междурядья b и определяется по формуле [14]

$$\alpha_2 = \arcsin(b/H). \quad (4)$$

Результаты расчета угла α_2 представлены в табл. 3. При ширине междурядья 3 м и 5 м свалить деревья под углом меньше 20° весьма проблематично вследствие соприкосновения крон в начальный период валки.

1-й прием рубок ухода с достижением коммерческого результата следует проводить тогда,

Т а б л и ц а 3

**Горизонтальные углы между направлением
валки деревьев и осью междурядья**

Horizontal angles between felling direction
and row spacing axis

Номер по порядку	Параметр	Возраст древостоя, лет			
		20	30	40	
1	Высота древостоя H , м	10,2	14,9	19,0	
2	Максимальный угол укладки деревьев при валке α_2 , град при ширине междурядья b , м	7	43,31	28,03	21,59
2 _а		5	29,34	20,79	15,25
2 _в		3	16,86	11,60	9,03

когда из предназначенных в рубку деревьев можно получить деловые сортименты. Однако при этом валку следует проводить без нанесения ущерба оставляемым на дорастивание деревьям (см. рис. 2). Полагаем, что вершинная часть кроны не повредит безсучковую часть ствола. Из прямоугольного треугольника находим:

$$\frac{b}{l_x} = \cos \beta; \quad b = l_x \cdot \cos \beta; \quad (5)$$

$$\frac{H_B - h}{l_x} = \sin \beta; \quad \beta = \arcsin\left(\frac{H_B - h}{l_x}\right); \quad (6)$$

$$b = l_x \cdot \cos\left[\arcsin\left(\frac{H_B - h}{l_x}\right)\right]. \quad (7)$$

С учетом полученных значений параметров l_x , H_B и h по формулам (6) и (7) вычисляем угол β и ширину междурядья b . Для выбранного примера

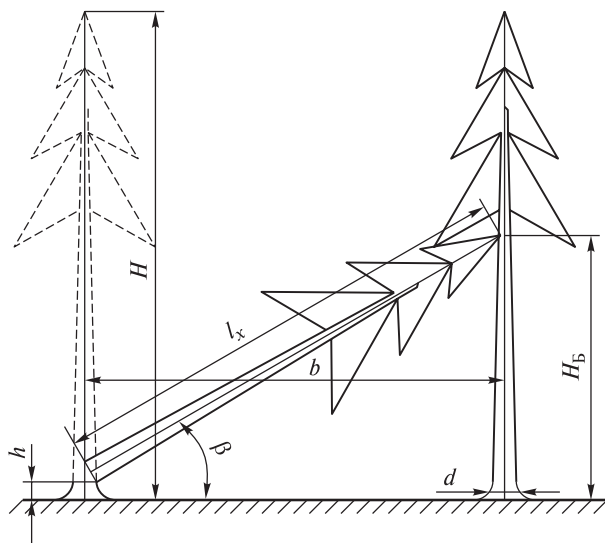


Рис. 3. Схема падения дерева в междурядье без нанесения ущерба деревьям в смежном ряду: H — средняя высота деревьев; l_x — средняя длина хлыста; b — ширина междурядья; H_b — средняя высота без сучковой зоны; h — высота пня; β — вертикальный угол наклона дерева в момент соприкосновения с оставляемым на дорастивание деревом в смежном ряду

Fig. 3. Scheme of a tree falling in a row-spacing without causing damage to trees in an adjacent row: H — the average height of trees; l_x — the average length of the whip; b — row spacing; H_b — average height without knot zone; h — the height of the stump; β — the vertical angle of inclination of the tree at the moment of contact with the tree left for growing in the adjacent row

параметров древостоя (см. табл. 3) при $l_x = 14,9$ м, $H_b = 10,43$ м и $h = 0,1$ м получили угол $\beta = 43,6^\circ$ и $b = 10,78$ м (при $l_x = 10,2$ м — $b = 7,38$ м; при $l_x = 19$ м — $b = 13,75$ м). На практике схему (рис. 3) можно применять при выполнении валки деревьев механизированным способом — бензопилой или харвестером — без подъема комля после спиливания.

Проблему доступности рабочих органов машин до подлежащих вырубке деревьев следует решать при проведении первичных рубок ухода. Так, при создании стационарных опытных объектов [23] при первоначальной густоте посадки 9,8 тыс. шт./га, расстоянии между рядами 1,7 м и шаге посадки 0,6 м при возрасте ели 17 лет были проведены рубки ухода разной интенсивности. Спустя 20 лет исследовали результаты роста культур ели в возрасте 37 лет на следующих объектах:

вариант № 1 — с вырубкой одного ряда через один ряд (интенсивность 50 %, ширина междурядья $b = 3,4$ м);

вариант № 2 — с вырубкой двух смежных рядов через ряд (интенсивность 67 %, $b = 5,1$ м);

вариант № 4 — с вырубкой двух смежных рядов через два ряда (интенсивность 50 %, $b = 5,1$ м);

вариант № 6 — с вырубкой трех смежных рядов через один ряд (интенсивность 75 %, $b = 6,8$ м).

В представленных вариантах средний диаметр ствола на высоте 1,3 м варьировал в пределах 16,4...18,4 см, а высота дерева — в пределах 16,5...17,9 м. При пропорциональном изреживании можно предположить, что в вариантах № 1 и № 4 расстояние между деревьями в рядах увеличилось до 1,2 м, что дает возможность беспрепятственного доступа захватно-срезающим органам лесозаготовительных машин к вырубаемым деревьям. К аналогичному заключению можно прийти и для вариантов № 2 и № 6. Из изложенного выше ясно, при каких условиях (параметрах древостоя) возможен доступ к подлежащим вырубке деревьям. Термин «пропорциональное изреживание» можно заменить на конкретное значение расстояния между деревьями — b_d .

Техническое решение

Нами разработан [24] способ заготовки сортиментов машинами при рубках ухода за лесом и выборочных рубках на возобновляемых искусственным путем лесных площадях с посадками, предусматривающими чередование узких полос с рядным размещением лесных культур в каждой из них и междурядий между ними с шириной, позволяющей осуществлять перемещение и работу лесозаготовительных машин.

Техническим результатом применения разработанного способа является минимизация повреждений, наносимых оставляемым на дорастивание после рубки деревьям. Минимизировать повреждения можно путем спиливания дерева, перемещения его к месту обрезки сучьев и раскряжевки, т. е. после спиливания дерево в вертикальном положении выносится манипулятором машины из насаждения в направлении, перпендикулярном оси ряда, в пространство междурядья. Далее поворотом ротатора влево или вправо вершина дерева опускается на поверхность междурядья, затем осуществляется обрезка сучьев и раскряжевка хлыстов. Полученные сортименты укладываются в кучи для последующего их сбора, погрузки и трелевки на погрузочный пункт форвардером (рис. 4).

Заготовка сортиментов осуществляется следующим образом. Обработка пасеки 1 может начинаться ближнего или дальнего от погрузочного пункта места. Валочно-сучкорезно-раскряжевочная машина (ВСРМ) 2, перемещаясь по оси междурядья, останавливается напротив предназначенного в рубку расположенного слева или справа дерева 3, крона которого тесно соприкасается с кронами 4 оставляемых на дорастивание соседних деревьев. Затем ВСРМ подводит, манипулируя, головку 5 к дереву, захватывает комлевою его часть боковыми сучкорезными ножами и протаскивающими роликами создает

усилие натяга вверх, спиливает и в вертикальном положении манипулятором 6 выносит дерево из насаждения в направлении, перпендикулярном оси ряда. Поворотом ротатора влево или вправо вершина дерева опускается на поверхность междурядья, осуществляются обрезка сучьев и раскряжевка хлыстов. Полученные сортименты 7 укладываются в кучи для последующего их сбора, погрузки и трелевки на погрузочный пункт.

Форвардер движется задним ходом вглубь пасаки на расстояние, обеспечивающее сбор полногрузной пачки сортиментов с последующим передним ходом, во время которого происходит сбор, погрузка и трелевка сортиментов на лесопогрузочный пункт.

Таким образом, заявленный способ выборочных рубок и рубок ухода за лесом машинами на возобновленных искусственным путем лесных площадях с посадками, предусматривающими чередование узких полос с рядным размещением лесных культур в каждой из них и широких междурядий между ними с шириной, позволяющей осуществлять работу лесозаготовительных машин, обеспечивает минимизацию повреждений, наносимых оставляемым на доращивание после рубки деревьям.

Выводы

1. Искусственное лесовыращивание следует проводить, изначально заложив в проекте рациональную технологию рубки леса, что позволит заготавливать лесоматериалы с минимальными повреждениями оставляемых на доращивание после рубки деревьев.

2. Рациональную технологию рубки леса необходимо планировать еще до посадки семян или саженцев, предусматривая их соответствующее размещение в рядах, которое обеспечит выполнение первичных рубок ухода с оставлением на доращивание перспективных особей.

3. При проектировании схем размещения (посадки или оставляемых на доращивание особей) важно исходить не только с позиции максимального прироста древостоя, но и с позиций их доступности для валки и дальнейшей обработки конкретной системой машин.

4. При проектировании пространственного размещения культур следует рассчитывать приходящуюся на одно дерево на момент посадки и на моменты рубок ухода среднюю площадь и ее форму. Такой формой являются прямоугольник, одна сторона которого равна расстоянию между деревьями, а другая — расстоянию между рядами древостоев. Эта форма не обязательно должна совпадать с расположением корневой системы, однако она обеспечивает ориентацию дерева в

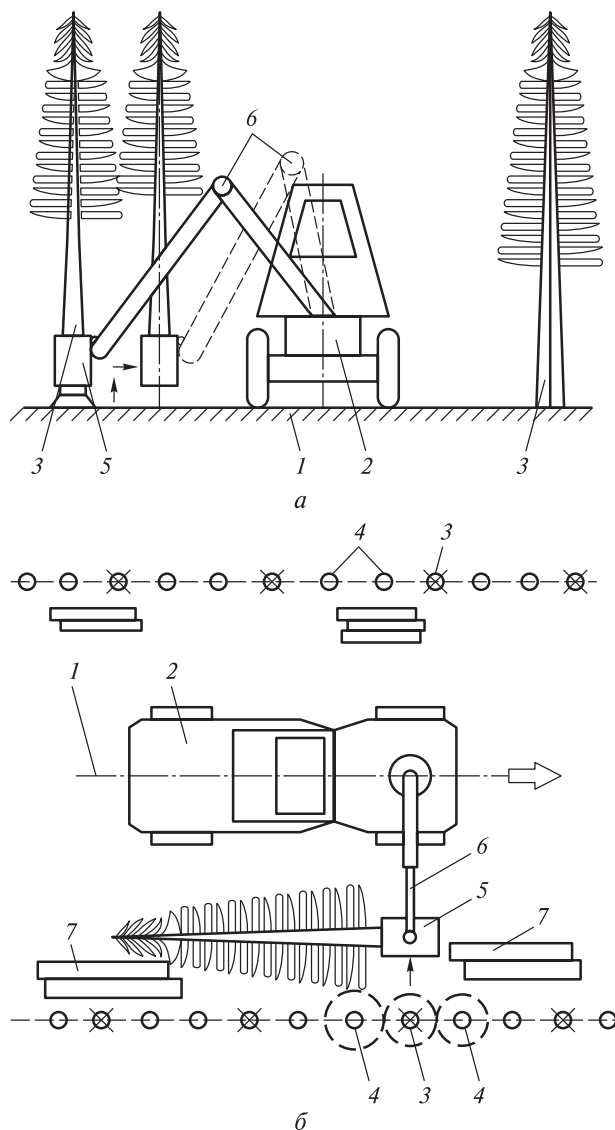


Рис. 4. Способ заготовки сортиментов машинами при рубках ухода за лесом и выборочных рубках на плантациях: *а* — схема выноса дерева из насаждения без ущерба оставляемым на доращивание соседним деревьям; *б* — схема обрезки сучьев, раскряжевки, укладки сортиментов в пачки на полосе междурядья

Fig. 4. The method of harvesting assortments by machines during thinning and selective felling on plantations: *a* — a scheme for removing a tree from a plantation without damage to neighboring trees left for growing; *b* — scheme of delimiting, bucking, stacking assortments in packs on the row spacing


пространстве и определяет технологию выборочных рубок.

5. При проведении выборочных рубок на плантациях, где обеспечена минимизация повреждений, наносимых оставляемым на доращивание после рубки деревьям, необходимо строго соблюдать последовательность выполнения элементов технологических операций валки, обрезки сучьев, раскряжевки и укладки сортиментов на пространстве междурядья.

Список литературы

- [1] Меньшиков В.Н. Основы технологии заготовки леса с сохранением и воспроизводством природной среды. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1987. 220 с.
- [2] Мазуркин П.М. Лесная аренда и рациональное лесопользование. Йошкар-Ола: Изд-во МарГТУ, 2007. 524 с.
- [3] Иевинь П.К., Розинь Т.Я. Доступность деревьев при машинной рубке выборочным способом // Комплексная механизация рубок ухода. Рига: Зинатне, 1975. С. 61–74.
- [4] Лейнонен Т., Туртиайнен М., Сиеккинен А. Лесовосстановление на Северо-Западе России и сравнение с Финляндией: комментарии финских специалистов. Йёнсуу, Финляндия: Изд-во Финского научно-исследовательского института (METLA), 2010. 38 с.
- [5] Дорошин А.В., Гулицкий В.И., Лейнонен Т. Рекомендации по лесовосстановлению и уходу за молодняками на Северо-Западе России. Йёнсуу, Финляндия: Изд-во Финского научно-исследовательского института (METLA), 2005. 56 с.
- [6] Демаков Ю.П., Курбанов Э.А., Денисов С.А., Мошкина Л.С. Лесное хозяйство Италии // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер. Лес. Экология. Природопользование, 2009. № 2 С. 5–11.
- [7] Рябоконт А.П. Способ выращивания сосновых насаждений без осветлений и прочисток // Проблемы использования, воспроизводства и охраны лесных ресурсов: материалы Республиканской науч.-практ. конференции, Йошкар-Ола, 01–02 июня 1989 г. Йошкар-Ола: Марийское книжное издательство, 1989. Кн. II. С. 57–58.
- [8] Романов Е.М., Демаков Ю.П., Нуреева Т.В., Заболотских П.В. О необходимости создания учебно-опытных стационаров для разработки и внедрения интенсивных технологий лесовыращивания и подготовки специалистов лесного дела // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер. Лес. Экология. Природопользование, 2020. № 2 (46). С. 5–26. DOI: <https://doi.org/10.25686/2306-2827/2020.2.5>
- [9] Демаков Ю.П., Нуреева Т.В., Пуряев А.С., Рыжков А.А. Закономерности развития древостоя в культурах сосны обыкновенной разной исходной густоты // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер. Лес. Экология. Природопользование, 2016. № 4 (32). С. 19–33. DOI: [10.15350/2306-2827.2016.4.19](https://doi.org/10.15350/2306-2827.2016.4.19)
- [10] Плантационное лесовыращивание / под ред. И.В. Шутова. Из-во СПбПУ, 2007. 366 с.
- [11] Демаков Ю.П., Нуреева Т.В., Краснов В.Г. Результаты 30-летнего опыта по изреживанию культур сосны в боррах Марийского Заволжья // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер. Лес. Экология. Природопользование, 2020. № 3 (47). С. 5–18. DOI: <https://doi.org/10.25686/2306-2827.2020.3.5>
- [12] Перевалова Е.А., Мерзленко М.Д., Глазунов Ю.Б. Динамика роста сосны в культурах разной густоты // Уч. зап. Петрозаводского государственного университета, 2016. № 2 (155). С. 38–41.
- [13] Желдак В.И. Лесные плантации в системе лесоводства // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер. Лес. Экология. Природопользование, 2017. № 3(35). С. 5–25.
- [14] Ширнин Ю.А., Рукомойников К.П., Гайсин И.Г., Ширнин А.Ю. Обоснование необходимости развития стратегии технологических процессов лесопользования на лесных плантациях // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 3. С. 49–57. DOI: [10.18698/2542-1468-2021-3-49-57](https://doi.org/10.18698/2542-1468-2021-3-49-57)
- [15] Ширнин Ю.А., Гайсин И.Г., Ширнин А.Ю., Шамов Д.А. Лесная плантация. Как рубить, как сажать и выращивать? // Лесопромышленный комплекс: инновации, проблемы и направления развития: материалы Всерос. науч.-практ. конф. «Современные машины, оборудование и IT-решения лесопромышленного комплекса: теория и практика», Воронеж, 17 июня 2021 г. Воронеж: Изд-во ВГЛУ, 2021. С. 172–179.
- [16] Ширнин Ю.А., Гайсин И.Г., Ширнин А.Ю., Шамов Д.А. Обоснование системы машин и технологий выборочных рубок для лесных плантаций // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер. Лес. Экология. Природопользование, 2021. № 1 (49). С. 82–93.
- [17] Ширнин Ю.А., Успенский Е.И., Белоусов А.С. Технология и эффективность рубок с естественным возобновлением леса. Йошкар-Ола: Изд-во МарПИ, 1991. 100 с.
- [18] Ширнин Ю.А., Рукомойников К.П., Гайсин И.Г., Яровиков М.А. Способ выборочных рубок и рубок ухода в посадках с двухрядным размещением лесных культур. Пат. 2752365 Россия. № 2020137920; приоритет от 19 ноября 2020; опубл. 26 июля 2021.
- [19] Ананьев В.А., Асикайнен А., Вялккю Э., Хлюстов В.К., Ширнин Ю.А. Промежуточное пользование лесом на Северо-Западе России. Йёнсуу, Финляндия: Изд-во Финского научно-исследовательского института леса. (METLA), 2005. 150 с.
- [20] Швиденко А.З., Щепашенко Д.Г., Нильссон С., Булуй Ю.И. Таблицы и модели хода роста и продуктивности насаждений основных лесобразующих пород Северной Евразии. М.: МГУЛ, 2008, 803 с.
- [21] Ширнин Ю.А. Лесное ресурсоведение: учебник. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2012. 356 с.
- [22] Люманов Р.А. Машинная валка леса. М.: Лесная промышленность, 1990. 280 с.
- [23] Глушкова Ю.П., Денисов С.А. Рекомендации по территориальному размещению плантаций ели для выращивания балансов в Республике Марий Эл. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2011. 44 с.
- [24] Ширнин Ю.А., Ширнин А.Ю., Гайсин И.Г., Шамов Д.А. Способ выборочных рубок и рубок ухода за лесом машинами на возобновленных искусственным путем лесных площадях. Пат. 2761407 Россия. № 2021111923; приоритет от 27 апреля 2021; опубл. 08 декабря 2021. Бюл. № 34.

Сведения об авторах

Ширнин Юрий Александрович  — д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой лесопромышленных и химических технологий, ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», ShirninYA@volgatech.net

Ширнин Александр Юрьевич — канд. техн. наук, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности, ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», ShirninAU@volgatech.net

Поступила в редакцию 02.03.2022.

Одобрено после рецензирования 02.06.2022.

Принята к публикации 15.08.2022.

INFLUENCE OF TREES POSITIONAL APPLICATION ON TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF SELECTIVE FELLINGS

Y.A. Shirnin✉, A.Y. Shirnin

Volga State University of Technology, 3, Lenin Square, 424000, Yoshkar-Ola, Republic of Mari El, Russia

ShirninYA@volgatech.net

The analysis of the spatial distribution of planting material in different regions during plantation forestry in the context of the geometric parameters of the forest stand is presented, a scheme for growing and harvesting timber on plantations is proposed, the parameters of the forest stand are identified that affect the harmless selective felling of individual trees left for rearing, the possibility is substantiated the use of logging machines in the existing formats of plantations, the requirements for the results of each stage of forest cultivation are formulated, the patented methodology and calculations of the average linear and angular parameters of selective felling are given.

Keywords: forest plantation, spatial arrangement of trees, damage to trees left for growing, logging machines, tree felling schemes, method of selective logging for forest care by machines

Suggested citation: Shirnin Y.A., Shirnin A.Y. *Vliyaniye prostranstvennogo razmeshcheniya derev'v na plantatsiyakh na tekhnologicheskie parametry vyborochnykh rubok* [Influence of trees positional application on technological parameters of selective fellings]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 5, pp. 83–92. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-5-83-92

References

- [1] Men'shikov V.N. *Osnovy tekhnologii zagotovki lesa s sokhraneniem i vosproizvodstvom prirodnoy sredy* [Fundamentals of logging technology with the preservation and reproduction of the natural environment]. Leningrad: Izd-vo Leningr. un-ta [Publishing House of Leningrad University], 1987, 220 p.
- [2] Mazurkin P.M. *Lesnaya arenda i ratsional'noe lesopol'zovanie* [Forest lease and rational forest management]. Yoshkar-Ola: MarGTU, 2007, 524 p.
- [3] Ievin' P.K., Rozin' T.Ya. *Dostupnost' derev'ev pri mashinnoy rubke vyborochnym sposobom* [Availability of trees during machine felling by selective method]. Kompleksnaya mekhanizatsiya rubok ukhoda [Comprehensive mechanization of care cuttings]. Riga: Zinatne, 1975, pp. 61–74.
- [4] Leynonen T., Turtiaynen M., Siekkinen A. *Lesovosstanovlenie na Severo-Zapade Rossii i sravnenie s Finlyandiye: kommentarii finskikh spetsialistov* [Reforestation in the North-West of Russia and comparison with Finland: comments of Finnish specialists]. Joensuu, Finland: Finnish Forest Research Institute METLA, 2010, 38 p.
- [5] Doroshin A.V., Gulitskiy V.I., Leynonen T. *Rekomendatsii po lesovosstanovleniyu i ukhodu za molodnyakami na Severo-Zapade Rossii* [Recommendations for reforestation and caring for young forests in the North-West of Russia]. Joensuu, Finland: Forest Research Institute of Finland. Joensuu Research Center, 2005, 56 p.
- [6] Demakov Yu.P., Kurbanov E.A., Denisov S.A., Moshkina L.S. *Lesnoe khozyaystvo Italii* [Forestry of Italy]. Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie [Bulletin of the Volga State Technological University. Ser. Forest. Ecology. Nature Management], 2009, no. 2, pp. 5–11.
- [7] Ryabokon' A.P. *Sposob vyrashchivaniya sosnovykh nasazhdeniy bez osvetleniy i prochistok* [The method of growing pine plantations without clarification and cleaning]. Problemy ispol'ovaniya, vosproizvodstva i okhrany lesnykh resursov: materialy Respublikanskoй nauchno-prakticheskoy konferentsii [Problems of the use, reproduction and protection of forest resources: materials of the Republican scientific and practical conference]. Yoshkar-Ola: Mariyskoe knizhnoe izdatel'stvo, 1989, book II, pp. 57–58.
- [8] Romanov E.M., Demakov Yu.P., Nureeva T.V., Zabolotskikh P.V. *O neobkhodimosti sozdaniya uchebno-opytnykh statsionarov dlya razrabotki i vnedreniya intensivnykh tekhnologiy lesovyrashchivaniya i podgotovki spetsialistov lesnogo dela* [On the need to create educational and experimental hospitals for the development and implementation of intensive technologies for forest growing and training of forestry specialists]. Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser. Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie [Bulletin of the Volga State Technological University. Ser. Forest. Ecology. Nature management], 2020, no. 2 (46), pp. 5–26. DOI: <https://doi.org/10.25686/2306-2827/2020.2.5>
- [9] Demakov Yu.P., Nureeva T.V., Puryaev A.S., Ryzhkov A.A. *Zakonomernosti razvitiya drevostoya v kul'turakh sosny obyknovnoy raznoy iskhodnoy gustoty* [Patterns of forest stand development in Scotch pine cultures of different initial density]. Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie [Bulletin of the Volga State Technological University. Ser. Forest. Ecology. Nature management], 2016, no. 4 (32), pp. 19–33. DOI: 10.15350/2306-2827.2016.4.19
- [10] *Plantatsionnoe lesovyrashchivanie* [Plantation forestry]. Ed. I.V. Shutov. St. Petersburg: St. Petersburg State Polytechnic University, 2007, 366 p.
- [11] Demakov Yu.P., Nureeva T.V., Krasnov V.G. *Rezul'taty 30-letnego opyta po izrezhivaniyu kul'tur sosny v borakh Mariyskogo Zavolzh'ya* [The results of 30 years of experience in thinning pine crops in the forests of the Mari Zavolzhye]. Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser. Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie [Bulletin of the Volga State Technological University. Ser. Forest. Ecology. Nature management], 2020, no. 3 (47), pp. 5–18. DOI: <https://doi.org/10.25686/2306-2827.2020.3.5>
- [12] Perevalova E.A., Merzlenko M.D., Glazunov Yu.B. *Dinamika rosta sosny v kul'turakh raznoy gustoty* [Pine growth dynamics in cultures of different density]. Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta [Scientific notes of Petrozavodsk State University], 2016, no. 2 (155), pp. 38–41.

- [13] Zheldak V.I. *Lesnye plantatsii v sisteme lesovodstva* [Forest plantations in the system of forestry]. Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo un-ta. Ser. Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie [Bulletin of the Volga State Technological University. Ser. Forest. Ecology. Nature Management], 2017, no. 3(35), pp. 5–25.
- [14] Shirnin Y.A., Gaisin I.G., Rukomojnikov K.P., Shirnin A.Y. *Obosnovanie neobhodimosti razvitiya strategii tekhnologicheskikh processov lesopol'zovaniya na lesnykh plantatsiyah* [Strategy for technological processes of forest management in forest plantations]. Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin, 2021, vol. 25, no. 3, pp. 49–57. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-3-49-57
- [15] Shirnin Yu.A., Gaisin I.G., Shirnin A.Yu., Shamov D.A. *Lesnaya plantatsiya. Kak rubit', kak sazhat' i vyrashchivat'?* [Forest plantation. How to cut, how to plant and grow?]. Lesopromyshlennyy kompleks: innovatsii, problemy i napravleniya razvitiya: materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Sovremennye mashiny, oborudovanie i IT-resheniya lesopromyshlennogo kompleksa: teoriya i praktika» [Timber industry complex: innovations, problems and directions of development: materials of the All-Russian scientific and practical conference «Modern machines, equipment and IT solutions of the timber industry complex: theory and practice», Voronezh, June 17, 2021. Voronezh: VGLTU, 2021, pp. 172–179.
- [16] Shirnin Yu.A., Gaisin I.G., Shirnin A.Yu., Shamov D.A. *Obosnovanie sistemy mashin i tekhnologiy vyborochnykh rubok dlya lesnykh plantatsiy* [Substantiation of the system of machines and technologies for selective felling for forest plantations]. Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser. Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie [Bulletin of the Volga State Technological University. Ser. Forest. Ecology. Nature management], 2021, no. 1 (49), pp. 82–93.
- [17] Shirnin Yu.A., Uspenskiy E.I., Belousov A.S. *Tekhnologiya i effektivnost' rubok s estestvennym vozobnovleniem lesa* [Technology and efficiency of logging with natural reforestation]. Yoshkar-Ola: MarPI, 1991, 100 p.
- [18] Shirnin Yu.A., Rukomojnikov K.P., Gaisin I.G., Yarovikov M.A. *Sposob vyborochnykh rubok i rubok ukhoda v posadkakh s dvukhryadnym razmeshcheniem lesnykh kul'tur* [The method of selective felling and thinning in plantings with two-row placement of forest crops]. Pat. 2752365 Russia, no. 2020137920; priority dated November 19, 2020; publ. July 26, 2021.
- [19] Anan'ev V.A., Asikaynen A., Vyal'kkyu E., Khlyustov V.K., Shirnin Yu.A. *Promezhutochnoe pol'zovanie lesom na Severo-Zapade Rossii* [Intermediate forest use in the North-West of Russia]. Joensuu, Finland: Finnish Forest Research Institute. Joensuu Research Center, 2005, 150 p.
- [20] Shvidenko A.Z., Shchepashchenko D.G., Nil'sson S., Buluy Yu.I. *Tablitsy i modeli khoda rosta i produktivnosti nasazhdeniy osnovnykh lesoobrazuyushchikh porod Severnoy Evrazii* [Tables and models of the course of growth and productivity of plantations of the main forest-forming species of Northern Eurasia]. Moscow: MSFU, 2008, 803 p.
- [21] Shirnin Yu.A. *Lesnoe resursovedenie* [Forest resource science: textbook]. Yoshkar-Ola: Povolzhskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskiiy universitet [Volga State Technological University], 2012, 356 p.
- [22] Lyumanov R.A. *Mashinnaya valka lesa* [Machine felling of the forest]. Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1990, 280 p.
- [23] Glushkova Yu.P., Denisov S.A. *Rekomendatsii po territorial'nomu razmeshcheniyu plantatsiy eli dlya vyrashchivaniya balansov v Respublike Mariy El* [Recommendations on the territorial distribution of spruce plantations for growing pulpwood in the Republic of Mari El]. Yoshkar-Ola: MarGTU, 2011, 44 p.
- [24] Shirnin Yu.A., Shirnin A.Yu., Gaisin I.G., Shamov D.A. *Sposob vyborochnykh rubok i rubok ukhoda za lesom mashinami na vozobnovlennykh iskusstvennym putem lesnykh ploshchadyakh* [The method of selective felling and thinning of forests by machines in artificially restored forest areas]. Pat. 2761407 Russia. No. 2021111923; priority dated April 27, 2021; publ. December 08, 2021. Bull. No. 34.

Authors' information

Shirnin Yuriy Aleksandrovich✉ — Dr. Sci. (Tech.), Professor, Head of the Department of Industrial and chemical technologies, Volga State University of Technology, ShirninYA@volgatech.net

Shirnin Aleksander Yur'evich — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor at the Chair of Safety of Living, Volga State University of Technology, ShirninAU@volgatech.net

Received 02.03.2022.

Approved after review 02.06.2022.

Accepted for publication 15.08.2022.

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

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОГО ХАРВЕСТЕРА

А.П. Мохирев¹✉, О.А. Куницкая², Г.А. Калита³, Н.Н. Вернер⁴, В.В. Швецова⁵

¹ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», 660041, г. Красноярск, пр. Свободный, д. 79

²ФГБОУ ВО «Арктический государственный агротехнологический университет», 677007, Республика Саха (Якутия), г. Якутск, ш. Сергеляхское, 3 км., д. 3

³ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет», 680035, г. Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136

⁴ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова», 194021, г. Санкт-Петербург, Институтский пер., д. 5

⁵ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», 190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4

ale-mokhirev@yandex.ru

Приведен расчет параметров надежности лесозаготовительной валочно-сучкорезно-раскряжевой машины (харвестера Ponsse-ERGO), эксплуатация которой проводилась на территории Красноярского края. Оценены отдельные элементы машины. За время наблюдений (10 500 ч) у каждого узла выявлено некоторое число отказов и среднее время восстановления. По результатам расчетов построена диаграмма вероятностей состояний системы харвестера и диаграмма Парето (накопленная вероятность отказов систем). По расчетам определено, что наибольшая вероятность отказов приходится на гидравлическую систему трансмиссии и гидроманипулятора — элементы основной нагрузки при эксплуатации машины. Представлен подробный анализ причин отказа лесозаготовительной машины в процессе ее эксплуатации. Выявлены основные причины отказа гидравлической системы и наиболее частая причина остановки харвестера во время работы. Для увеличения работоспособности и долговечности харвестера рекомендуется оптимизировать условия эксплуатации, оптимальный подбор конструкторского материала, обладающего более высокими техническими характеристиками, упрочняющими саму деталь и ее поверхность изнашивания.

Ключевые слова: вероятность состояний, работоспособность, долговечность, харвестер

Ссылка для цитирования: Мохирев А.П., Куницкая О.А., Калита Г.А., Вернер Н.Н., Швецова В.В. Оценка надежности лесозаготовительного харвестера // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 5. С. 93–101. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-5-93-101

Технико-экономическая эффективность функционирования лесных машин в значительной степени определяется их техническими характеристиками, в том числе показателями эксплуатационной надежности.

Достигнутого уровня указанных показателей не всегда достаточно для обеспечения соответствия их современным потребительским требованиям [1], а именно, растущим рабочим нагрузкам, точности работы, скоростям и ускорениям движения рабочих органов. В связи с этим необходимо повышать работоспособность машин, используемых в лесном комплексе, в значительной степени лимитируемой недостаточным уровнем износостойкости составляющих их узлов и деталей [2, 3].

К лесозаготовительной технике относится широкий перечень машин, применяемых при валке и первичной обработке древесины, которые предназначены для валки деревьев, обрезки сучьев, группировки и транспортировки стволов, их поперечной распиловки (раскряжевки), иногда измельчения поваленных деревьев (чипперы).

Основные требования, предъявляемые к указанной технике, помимо высокой эксплуа-

тационной надежности включают в себя климатоустойчивость, универсальность, высокую маневренность, многофункциональность и транспортную проходимость [3–7].

Конструктивно эти машины обеспечивают механизацию цикла заготовки древесины, начиная от валки деревьев и заканчивая ее первичной обработкой. Кроме того, технические возможности указанной техники должны гарантировать устранение травматизма, существенное улучшение условий труда на лесозаготовках, а также повышение производительности и технико-экономических показателей работы.

Высокие требования к надежности указанной техники обусловлены тем, что ее эксплуатация осуществляется в труднодоступных местах, вдали от ремонтных и сервисных подразделений [8, 9], что приводит к возникновению существенных сложностей даже при незначительных поломках. А простой техники вследствие ее отказов вызывают, как правило, значительные экономические потери [10].

Харвестер — это машина, которая на сегодняшний день представляет собой одну из главных частей современного лесозаготовительного комплекса [11]. Машина универсальна и может заменить большую бригаду рабочих [12],

что позволяет ей работать в разы эффективнее и преодолевать затрудненные участки благодаря повышенной проходимости [13, 14].

Особенностью системы работы харвестера является гидростатический привод: два насоса, которые расположены рядом с двигателем. Один из насосов работает на навесное оборудование (харвестерную головку и гидроманипулятор), а другой — на трансмиссию машины.

Харвестер имеет шарнирно-сочлененную конструкцию рамы, что обеспечило ее проходимость по труднодоступным и тяжелопроходимым участкам, в частности по заболоченной местности, глубокому снегу, при перепадах высот и неровностях дорог и др. [15].

Главным механизмом исполнения команд оператора служит харвестерная головка, которая управляется из кабины с помощью бортового компьютера. Харвестерная головка приводится в движение с помощью гидравлической системы [16].

В современном машиностроении главное внимание уделяется увеличению долговечности деталей лесозаготовительной техники в условиях интенсивного износа [17], разработке разнообразия конструктивных и технологичных методов повышения износостойкости агрегатов техники [18, 19].

Цель работы

Цель работы — определение надежности элементов лесозаготовительного харвестера, эксплуатируемого в условиях Красноярского края.

Материалы и методы исследования

Основными в методе являются сбор и обработка информации по ремонтпригодности, износостойкости и в целом надежности отдельных деталей и узлов машины. На качество сбора и обработки исходной информации влияет работоспособность применяемых методов и получаемый результат.

Начальный этап эксплуатации лесозаготовительной техники служит общим отсчетом ресурсов всех отдельных деталей, узлов и системы в целом. В начале работы лесозаготовительная техника состоит их заводских деталей и узлов, у которых вероятность выхода из строя намного меньше, чем уже восстановленных или отремонтированных элементов в процессе сервисного обслуживания. По мере изнашивания узлов происходит замена деталей, и, следовательно, поток отказов будет постепенно увеличиваться, и, в конечном итоге, перейдет в установившийся.

Суммарная интенсивность λ_0 установившегося потока отказов системы будет складываться из интенсивностей потоков, они включены последовательно и при отказе элементов отказывает вся система:

$$\lambda_0 = \sum_{i=1}^n \lambda_i.$$

Все выходы из строя деталей сложной восстанавливаемой системы в основном не связаны один с другим, и наработка между выходами из строя является случайной величиной, получаемой процессом без последствия и распределенной по экспоненциальному закону. Нарботки на отказ можно рассчитать по формуле

$$\bar{T}_{от} = \frac{t}{n},$$

где t — количество наблюдений, ч;

n — число отказов.

„Вероятность, что ремонтные работы потребуются на промежутке времени T непрерывной эксплуатации, описывает выражение

$$P = \frac{\bar{T}_{от}}{\bar{T}_{от} + \bar{T}_в},$$

где $\bar{T}_{от}$ — средняя наработка машины на отказ;

$\bar{T}_в$ — среднее время восстановления работоспособности (простоя в неплановом ремонте).

Интенсивность потока восстановлений μ_i определяется по уравнению

$$\mu_i = \frac{1}{T_{вi}},$$

где $T_{вi}$ — время восстановления работоспособности машины после отказа i -го элемента.

Интенсивность потока отказа λ_i можно рассчитать по формуле

$$\lambda_i = \frac{1}{T_{отi}},$$

где $T_{отi}$ — время наработки на отказ.

Суммарное время восстановления после отказа составляет

$$\sum T_в = T_в n.$$

Используем теорию массового обслуживания для описания вероятностей состояний машины на основании информации об интенсивностях λ_i потоков отказов и восстановлений μ_i отдельных из n -го количества сборочных единиц. Машина состоит из большого числа элементов, отказ которых в процессе эксплуатации устраняют неплановым ремонтом. Поочередно в случайные моменты времени машина из работоспособного состояния (S_0) может переходить в состояние отказа первого (S_1) или второго элемента, вплоть до S_n . Время простоя в неплановом ремонте также является случайной величиной, зависящей от характера повреждений элемента, наличия запасных частей. Если принять поток отказов и

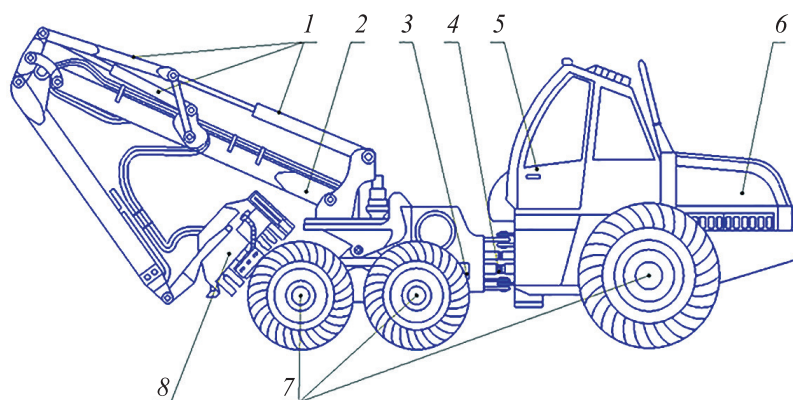


Рис. 1. Оцениваемые узлы харвестера: 1 — гидравлическая система манипулятора; 2 — манипулятор; 3 — гидравлическая система трансмиссии; 4 — шарнирное сочленение; 5 — система управления; 6 — двигатель; 7 — трансмиссия (ходовая часть); 8 — харвестерная головка

Fig. 1. Assessed harvester units: 1 — hydraulic system of the manipulator; 2 — manipulator; 3 — hydraulic transmission system; 4 — articulation; 5 — control system; 6 — engine; 7 — transmission (chassis); 8 — harvester head

восстановлений простейшими, то машину можно рассматривать как систему массового обслуживания (СМО) [20].

В целях оценки надежности осуществлялись наблюдения за работой харвестера Ponsse-ERGO в летнее и зимнее (преимущественно) время года на территории Нижнего Приангарья в Красноярском крае. Наблюдения проводились за такими основными узлами лесозаготовительной машины, как гидравлические системы трансмиссии и манипулятора, двигатель, харвестерная головка, система управления, трансмиссия (ходовая часть), сочленение ходовой части, манипулятор (механическая часть) (рис. 1). Длительность наблюдений составляла 10 500 ч. За это время у каждого узла были выявлены некоторое число отказов и среднее время восстановления после отказа узла.

Для обработки полученных данных применяли пакет программ Microsoft Office Excel, при этом достоверность составляла 95 %.

Результаты и обсуждение

По представленной выше методике выполнены расчеты надежности каждого узла в отдельности (таблица, см. рис. 1). Исследуемые системы представлены в таблице в порядке уменьшения вероятности состояний.

На рис. 2 показана диаграмма вероятностей состояний системы харвестера и диаграмма Парето (накопленная вероятность отказов систем).

Из рис. 2 видно, что наибольшая вероятность отказов приходится на гидравлические системы трансмиссии и гидроманипулятора, поскольку именно на них приходится основная нагрузка при эксплуатации машины [21]. Эксплуатация

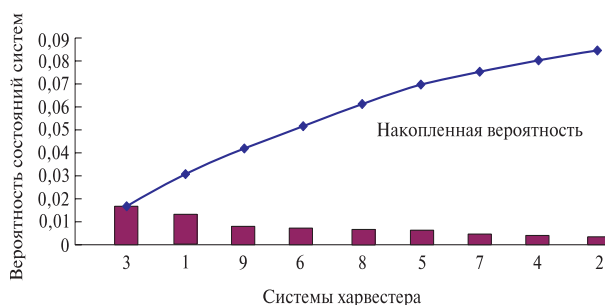


Рис. 2. Графическая интерпретация результатов расчета вероятностей состояний систем харвестера: 1–9 — см. таблицу

Fig. 2. Graphical interpretation of the state probabilities calculations of the harvester systems: 1–9 — see the table

лесозаготовительной техники затруднена тем, что машина используется в процессе всего сезона в тяжелых природно-климатических условиях, преимущественно (60...65 %) в зимнее время, т. е. при довольно низкой температуре воздуха (–45 °С), что затрудняет работу гидросистемы харвестера [22]. Еще одним затрудняющим фактором эксплуатации машины в зимний период времени являются обильные осадки в виде снега. Глубина снежного покрова может достигать более 1 м, поэтому перемещение по лесосеке затруднительно даже на высокопроходимой технике. В весенне-осеннее время работы на харвестере проводятся в условиях высокой влажности почвогрунта и большого объема грязи. Предзимний период для работы харвестера наиболее благоприятен, поскольку почвогрунт подмерзает, а температура воздуха еще не такая низкая, как зимой. Это позволяет больше эксплуатировать машину, так как коэффициент динамичности увеличивается в 1,5 раза.

Расчеты вероятностей состояний
State probability calculations

№ системы	Система харвестера Ergo	Зафиксированное число отказов	Суммарное время восстановления после отказов, ч	Средняя наработка на отказ, $T_{отв}$	Среднее время восстановления после отказа, $T_{в}$	Интенсивности потоков		λ_i / μ_i	Вероятность состояний P_i
						λ_i	μ_i		
3	Гидравлическая система трансмиссии	9	187	1166,7	20,8	0,00086	0,04807	0,01789	0,01752
1	Гидравлическая система манипулятора	10	168	1050	16,8	0,00095	0,0595	0,01600	0,01575
9	Прочее	34	126	308,8	3,7	0,00324	0,26984	0,01200	0,01098
6	Двигатель	3	115	3500	38,3	0,00029	0,0261	0,01111	0,01083
8	Харвестерная головка	8	106	1312,5	13,3	0,00076	0,0751	0,01010	0,01003
5	Система управления	14	98	750	7	0,00133	0,143	0,0093	0,00925
7	Трансмиссия (ходовая часть)	8	63	1312,5	7,9	0,00076	0,1296	0,006	0,00598
4	Шарнирное сочленение	4	57	2625	14,3	0,00038	0,06993	0,005434	0,00542
2	Манипулятор (механическая часть)	7	53	1500	7,6	0,00067	0,1316	0,00509	0,005041
	Среднее	11	108	1502,83	14,4				
	Сумма	97	973	13525,5	129,7	0,00924	0,953	0,0929	0,0908
							$P_b =$	0,9092	1

Примечание. Производительность наблюдений — 10 500 ч работы.

Работа харвестера связана с большим количеством переходных циклических процессов. При валке дерева происходит контакт харвестерной головки со стволом, при обрезке сучьев и при раскрывке контактируют соответственно сучкорезные ножи и пильная гарнитура харвестерной головки. При динамических нагрузках существенное влияние на оборудование лесозаготовительной машины оказывают пересеченный рельеф местности, остатки выступающей части деревьев (пни, корневые системы), состав и физико-механические свойства почвогрунтов, силовое воздействие со стороны ветра.

Одним из основных факторов, влияющих на причину поломки харвестера, является контакт с обрабатываемыми деревьями. Непосредственный контакт происходит со стволом дерева и его кроной, подростом, пнями и сортиментами. Все эти контакты могут вызвать довольно большое количество повреждений, во избежание которых необходимо предусматривать специальную защиту элементов, и особенно гидравлические системы машины. Кроме того, таксационные характеристики на лесосеке характеризуются большим разнообразием весовых и геометрических

параметров деревьев (от 10 и более). Также встречается некоторое число «нерасчетных деревьев и сучьев», которые, в свою очередь, контактируют с лесозаготовительной техникой и выводят ее из строя.

Сервисное обслуживание лесозаготовительной техники в лесу происходит с некоторыми затруднениями вследствие тяжелых погодных условий, большого расстояния до ремонтной базы, необходимости ожидания мастера по сервисному обслуживанию, не всегда соответствующего достаточной квалификации [23].

Опыт эксплуатации показывает, что все повреждения и выходы из строя лесозаготовительных машин можно подразделить на отказы гидравлической системы и отказы металлоконструкции. В свою очередь, отказы металлоконструкции подразделяются еще на несколько видов: остаточная деформация, вязкий, усталостный и хрупкий изломы.

Остаточную деформацию обнаружить несложно, поскольку изменяются геометрические формы и размеры детали или узла в целом, что обуславливает их удлинение, изгиб, вмятины, скручивание и др. Часто такие повреждения происходят

в неподготовленной захламленной лесосеке, со сложными условиями. В этом случае наиболее уязвимым узлом харвестера будет трансмиссия, которая выходит из строя вследствие столкновения с оставленным валежником и пнями. При этом повреждаются даже элементы кабины.

Главная причина выхода из строя узла харвестера при вязком изломе состоит в резких перегрузках, которые возникают при несоблюдении или незнании максимально допустимых нагрузок на узел техники, при нарушении правил эксплуатации лесозаготовительной техники. При вязком изломе выход из строя детали или узла происходит внезапно в результате потери прочности. Разрушения при этом сопровождаются макроскопическими деформациями в значительной степени, на поверхности площадки разрушения появляются сколы, неровности и др.

При усталостном изломе выход из строя в большинстве случаев происходит по причине длительного воздействия многочисленных циклических нагрузок, которое сопровождается образованием трещин. Поверхность детали имеет зоны с ускоренным развитием трещины, излома и в конечном итоге долома. Основными причинами, при которых происходит отказ техники, являются длительное воздействие знакопеременной нагрузки, пониженная прочность материала детали, наличие на поверхности макротрещин, надрезов, неметаллических включений и др.

Выход из строя по причине хрупкого излома случается вследствие малых макроскопических деформаций. В этом случае поверхность излома направлена перпендикулярно максимальным растягивающим напряжениям и имеет кристаллическое строение с рубцами, лучеобразно расходящимися из зоны начала разрушения. Чаще всего выход техники из строя обуславливают дефекты, возникающие при термической обработке, превышении ударных нагрузок, хладноломкости стали, неудовлетворительном качестве материала (повышенном содержании в составе водорода, фосфора). Все эти факторы приводят к тому, что безотказная работа харвестера определяется сопротивлением металла хрупкому излому, а так же на сколько быстро происходят изменения в окружающей среде.

Чуть больше 1/3 отказов в лесозаготовительной технике приходится на гидросистему. Основными причинами здесь служат: нарушение герметичности трубопроводов соединений, повышенный износ подвижных элементов узла, загрязнение гидравлической жидкости, не всегда удовлетворительная работа сервисного персонала.

Причины, по которым гидросистема подвержена большому количеству отказов, состоят в большой протяженности всей системы, состав-

ляющей около 10 м. При этом основная часть работы харвестера происходит в зимний период, т. е. при тяжелых природно-климатических условиях. Отрицательные температуры (до -45°C) и сильные ветры приводят к тому, что упругость обдуваемых со всех сторон рукавов, шлангов, уплотнителей изменяется в худшую сторону, появляются трещины, изменяющие давление в гидросистеме и, следовательно, оборудование выходит из строя.

Опасность представляет также повышения температуры внутри самой гидросистемы. Это происходит вследствие износа, деформации трубопроводов, которые сказываются на дросселировании рабочей жидкости. Снижается вязкость масла до недопустимого уровня, нарушаются смазывающие свойства масел, уменьшаются упругие свойства уплотнений, увеличиваются протечки через зазоры и трещины. Последний фактор повышает выделение тепла в систему вследствие дросселирования рабочей жидкости в зазорах и трещинах, это приводит к уменьшению КПД работы гидросистемы.

Большая часть неисправностей гидросистемы происходит вследствие нарушения герметичности соединений, выхода из строя резиновых уплотнений, разрыва и надрыва рукавов и шлангов. Повышенные нагрузки и вибрации на металлических трубопроводах вызывают появление макротрещин, а при механических силовых повреждениях на поверхности детали появляются изгибы, вмятины, удлинения, что приводит к нарушению работы всей системы в целом. Также при нарушении герметичности во всасывающих гидромагистралях происходит попадание воздуха (пенообразование), а при надрывах и разрывах магистрали — потеря дорогостоящей рабочей жидкости и выход из строя гидравлической системы.

Анализ выходов из строя гидравлических систем лесозаготовительных машин позволил выявить некоторые причины потери работоспособности отдельных узлов. Например, в аксиально-поршневых насосах и гидродвигателях отказ наступает в результате износа сферической поверхности и искривления шатунов, износа торцевых поверхностей, поршневых отверстий и посадочных мест в блоке, износа шеек валов, центрального шипа, шлицевых и посадочных мест, износа поршней; в шестеренных насосах — в результате износа внутренней поверхности и посадочных мест корпуса и крышек, износа втулок; в лопастных насосах — в результате износа торцевой поверхности статоров и дисков, износа лопастей, цапф, торцов и пазов в роторах. К наиболее изнашиваемым местам в гидроцилиндрах относятся: внутренняя и торцевая поверх-

ность корпуса цилиндров, торцы и посадочные поверхности крышек, посадочная поверхность направляющих втулок, наружная поверхность плунжеров и поршней, резьбовые соединения и уплотнения [24].

Наиболее частой причиной остановки харвестера во время работы является отказ пильной гарнитуры [25]. Пильные цепи выходят из строя в основном по причине естественного износа, а также некачественного обслуживания. Значительно реже возникает обрыв цепи при столкновении с посторонним предметом в стволе дерева. Замена, правка цепи занимают несколько минут, однако снижают производительность харвестера. При среднем объеме хлыста 0,25 м³ за 1 мин харвестер может заготовить 0,5 м³ древесины. Как показывает опыт эксплуатации, для повышения надежности пильных гарнитур харвестеров следует нормировать максимальную наработку пильной цепи до 350 м³, а также более внимательно относиться к выбору пильных шин, наиболее подходящих под эксплуатацию конкретных пильных цепей в конкретных условиях эксплуатации.

Выводы

Практически все выходы из строя лесозаготовительной техники и оборудования происходят по причине возникновения ошибок на этапах проектирования, изготовления и эксплуатации. Работоспособность, безотказность и долговечность харвестера зависят от трения деталей и их изнашивания в процессе работы.

Повышения работоспособности и долговечности харвестера достигают путем оптимизации условий эксплуатации и оптимального подбора конструкторского материала, который обладает высокими техническими характеристиками, упрочняющими как саму деталь, так и поверхности изнашивания.

Сложная лесозаготовительная система представляет собой совокупность взаимодействующих и самостоятельно функционирующих подсистем, предназначенных для достижения конкретной цели. При планировании мероприятий, повышающих надежность и работоспособность таких систем, как харвестер, следует исходить из инновационных мероприятий, стратегий технического обслуживания и особенностей ремонта.

Список литературы

- [1] Шиловский В.Н., Питухин А.В., Костюкевич В.М. Организация технического обслуживания зарубежной лесозаготовительной техники // *Resources and Technology*, 2013. Т. 10. № 2. С. 139–150.
- [2] Григорьев И.В., Куницкая О.А., Рудов С.Е. Использование методов теории управления качеством для повышения эффективности работы транспортно-технологических комплексов на заготовке древесины // *Транспортные и транспортно-технологические системы: Материалы Междунар. науч.-техн. конф.*, Тюмень, 22 октября 2020 года / ред. Н.С. Захаров. Тюмень: Изд-во Тюменского индустриального университета, 2020. С. 130–133.
- [3] Korane K.J. Forest machines tread lightly // *Machine Design*, 1997, v. 69, no. 17, pp. 58–61.
- [4] Рудов С.Е., Григорьев И.В. Пути повышения эффективности работы систем машин для сортиментной заготовки древесины // *Повышение эффективности лесного комплекса: Материалы VII Всерос. нац. науч.-практ. конф. с междунар. участием*, Петрозаводск, 25 мая 2021 года. Петрозаводск: Изд-во Петрозаводского государственного университета, 2021. С. 168–169.
- [5] Григорьев И.В., Рудов С.Е. Перспективы создания транспортных средств для лесозаготовительного производства в арктической зоне // *Лесозаготовка и комплексное использование древесины: сб. статей Всерос. науч.-практ. конф.*, Красноярск, 10 марта 2021 года. Красноярск: Изд-во Сибирского государственного университета науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, 2021. С. 70–74.
- [6] Григорьева О.И., Давтян А.Б., Гринько О.И., Войнаш С.А. Концепция универсальной машины для выполнения лесохозяйственных работ и тушения лесных пожаров // *Машиностроение: новые концепции и технологии: Всерос. науч.-практ. конф.*, Красноярск, 23 октября 2020 года. Красноярск: Изд-во Сибирского государственного университета науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, 2020. С. 45–49.
- [7] Gerasimov Y., Karjalainen T., Senko S. Nordic forest energy solutions in the Republic of Karelia // *Forests*, 2013, v. 4, no. 4, pp. 945–967. DOI 10.3390/f4040945
- [8] Питухин А.В. Повреждаемость лесозаготовительных машин в условиях эксплуатации // *Инженерный вестник Дона*, 2018. № 4(51). С. 162.
- [9] Shabaev A., Urban A., Pyatin D., Sokolov A. Optimal planning of wood harvesting and timber supply in Russian conditions // *Forests*, 2020, v. 11, no. 6, pp. 1–16. DOI 10.3390/f11060662
- [10] Григорьев И.В. Сервисные контракты для современных лесных машин // *Повышение эффективности лесного комплекса: Материалы V Всерос. нац. науч.-практ. конф. с междунар. участием*, Петрозаводск, 22 мая 2019 года. Петрозаводск: Изд-во Петрозаводского государственного университета, 2019. С. 26–28.
- [11] Куницкая О.А., Чернуцкий Н.А., Дербин М.В. Машинная заготовка древесины по скандинавской технологии. Санкт-Петербург: Издательско-полиграфическая ассоциация высших учебных заведений, 2019. 192 с.
- [12] Мохирев А.П., Григорьев И.В., Куницкая О.А., Григорьева О.И., Войнаш С.А. Совершенствование конструкции полноповоротных лесозаготовительных машин на экскаваторных базах // *Строительные и дорожные машины*, 2018. № 6. С. 43–49.
- [13] Мохирев А.П., Мамматов В.О., Уразаев А.П. Моделирование технологического процесса работы лесозаготовительных машин // *Международные научные исследования*, 2015. № 3(24). С. 72–74.
- [14] Javůrek P., Dvořák J. Evaluation of total time consumption in harvester technology deployment in conditions of the forest sector of the Czech Republic // *J. of Forest Science*, 2018, v. 64, no. 1, pp. 33–42. DOI 10.17221/92/2017-JFS
- [15] Григорьев И.В., Рудов С.Е. Особенности эксплуатации колесных лесных машин в сложных почвенно-грунтовых и рельефных условиях // *Forest Engineering: материалы науч.-практ. конф. с междунар. участием*, Якутск, 30–31 мая 2018 года. Якутск: Издательский дом СВФУ, 2018. С. 67–71.

- [16] Григорьев И.В. Калибровка харвестерных головок // Наука и инновации: векторы развития: Материалы Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых: сб. науч. статей: в 2 кн., Барнаул, 24–25 октября 2018 г. Барнаул: Изд-во Алтайского государственного аграрного университета, 2018. С. 78–82.
- [17] Питухин А.В., Кильпелайнен С.А. Повреждаемость лесозаготовительных машин при изготовлении // Инженерный вестник Дона, 2019. № 1(52). С. 67.
- [18] Smith J. Managing equipment health // Plant Engineering, 2001, v. 55, no. 8, pp. 30–34.
- [19] Gerasimov Y., Sokolov A., Syunev V. Development trends and future prospects of cut-to-length machinery // Advanced Materials Research, 2013, v. 705, pp. 468–473. DOI 10.4028/www.scientific.net/AMR.705.468
- [20] Григорьев И.В., Куницкая О.А., Фам Н.Л. Применение мобильных технологий для мониторинга, контроля и управления процессами сервиса лесных машин // Инновации в химико-лесном комплексе: тенденции и перспективы развития: Материалы Всерос. науч.-практ. конф., Красноярск, 04–05 июня 2020 года / ред. Ю.А. Безруких, Е.В. Мельникова. Красноярск: Изд-во Сибирского государственного университета науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, 2020. С. 143–146.
- [21] Кобзов Д.Ю., Ереско С.П. О критериях работоспособности и надежности гидроцилиндров // Системы. Методы. Технологии, 2012. № 1(13). С. 38–45.
- [22] Григорьев И.В. Особенности эксплуатации лесных машин в сильные морозы // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: Материалы Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых, Могилев, 25–26 октября 2018 г. / ред. И.С. Сазонов. Могилев: Изд-во Белорусско-Российского университета, 2018. С. 102.
- [23] Григорьева О.И., Григорьев И.В. Повышение эффективности кадрового обеспечения лесного комплекса Российской Федерации // Архитектура университетского образования: построение единого пространства знаний: сб. тр. IV Нац. науч.-метод. конф. с междунар. участием, Санкт-Петербург, 30 января – 01 февраля 2020 г. Санкт-Петербург: Изд-во Санкт-Петербургского государственного экономического университета, 2020. С. 123–130.
- [24] Пилошина Г.А., Прусс Б.Н. Анализ причин отказов лесозаготовительной техники // Актуальные проблемы лесного комплекса, 2007. № 18. С. 34–38.
- [25] Григорьев И.В., Куницкая О.А., Григорьева О.И. Обслуживание цепных пильных гарнитур лесозаготовительных машин // Ремонт. Восстановление. Модернизация, 2020. № 8. С. 14–19. DOI 10.31044/1684-2561-2020-0-8-14-19

Сведения об авторах

Мохирев Александр Петрович✉ — д-р техн. наук, профессор кафедры автомобильных дорог и городских сооружений, ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», ale-mokhirev@yandex.ru

Куницкая Ольга Анатольевна — д-р техн. наук, профессор кафедры «Природообустройство», ФГБОУ ВО «Арктический государственный агротехнологический университет», ola.ola07@mail.ru

Калита Георгий Александрович — канд. техн. наук, доцент кафедры технологии лесопользования и ландшафтного строительства, ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет», g.kalita@mail.ru

Вернер Надежда Николаевна — канд. техн. наук, доцент кафедры прикладной механики и инженерной графики, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет», wernern@mail.ru

Швецова Виктория Викторовна — канд. техн. наук, доцент кафедры «Начертательная геометрия и инженерная графика», ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», г. Санкт-Петербург, vikt.schvetzova2012@yandex.ru

Поступила в редакцию 01.02.2022.

Одобрено после рецензирования 09.06.2022.

Принята к публикации 15.08.2022.

LOGGING HARVESTER RELIABILITY ASSESSMENT

A.P. Mokhirev¹✉, O.A. Kunitskaya², G.A. Kalita³, N.N. Werner⁴, V.V. Shvetsova⁵

¹Siberian Federal University, 79, Svobodny pr., 660041, Krasnoyarsk, Russia

²Northern (Arctic) Federal University, 3, Sergelyakhskoye highway, 3 km, 677007, Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia), Russia

³Pacific National University, 136, Pacific st., 680035, Khabarovsk, Russia

⁴Saint-Petersburg State Forestry University, 5, Institutsky Lane, 194021, St. Petersburg, Russia

⁵Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, 4, 2nd Krasnoarmeyskaya st., 190005, St. Petersburg, Russia

ale-mokhirev@yandex.ru

The article calculates the reliability parameters of the logging felling-knot-cutting-bucking machine (harvester). Individual elements were evaluated in the car. The operation of the Ponsse-ERGO harvester was carried out on the territory of the Krasnoyarsk Territory. The duration of observations was 10 500 hours. During this time, each node revealed a certain number of failures and the average recovery time after node failure. Based on the results of the calculations, a probability diagram of the harvester system states and a Pareto diagram (accumulated probability of system failures) are constructed. According to calculations, it was determined that the greatest probability of failures falls on the hydraulic system of the transmission and hydraulic manipulator. These elements of the machine account for the main load during its operation. A detailed analysis of the reasons for the failure of a logging machine during its operation is presented. It was revealed that the main reasons for the failure of the hydraulic system are: violation of the tightness of the connection pipelines, increased wear of the moving elements of the assembly, contamination of the hydraulic fluid, not always satisfactory work of the service personnel. Also, the most common reason for stopping the harvester during operation is the failure of the saw headset. An increase in the harvester's performance and durability can be achieved by optimizing the operating conditions of the logging machine, and optimally selected design material that has higher technical characteristics that strengthen the part itself and the wear surface.

Keywords: probability of states, operability; durability, harvester

Suggested citation: Mokhirev A.P., Kunitskaya O.A., Kalita G.A., Werner N.N., Shvetsova V.V. *Ocenka nadezhnosti lesozagotovitel'nogo harvestera* [Logging harvester reliability assessment] // *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 5, pp. 93–101. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-5-93-101

References

- [1] Shilovskiy V.N., Pitukhin A.V., Kostyukevich V.M. *Organizatsiya tekhnicheskogo obsluzhivaniya zarubezhnoy lesozagotovitel'noy tekhniki* [Organization of maintenance of foreign logging equipment]. *Resources and Technology [Resources and Technology]*, 2013, v. 10, no. 2, pp. 139–150.
- [2] Grigor'ev I.V., Kunitskaya O.A., Rudov S.E. *Ispol'zovanie metodov teorii upravleniya kachestvom dlya povysheniya effektivnosti raboty transportno-tekhnologicheskikh kompleksov na zagotovke drevesiny* [Using the methods of quality management theory to improve the efficiency of transport and technological complexes for timber harvesting]. *Transportnye i transportno-tekhnologicheskie sistemy: Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii [Transport and transport and technological systems: Proceedings of the International Scientific and Technical Conference]*, Tyumen, October 22, 2020. Ed. N.S. Zakharov. Tyumen: Tyumen Industrial University, 2020, pp. 130–133.
- [3] Korane K.J. Forest machines tread lightly. *Machine Design*, 1997, v. 69, no. 17, pp. 58–61.
- [4] Rudov S.E., Grigor'ev I.V. *Puti povysheniya effektivnosti raboty sistem mashin dlya sortimentnoy zagotovki drevesiny* [Ways to improve the efficiency of machine systems for cut-to-length harvesting of wood]. *Povyshenie effektivnosti lesnogo kompleksa: mater. VII Vserossiyskoy natsional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem [Improving the efficiency of the forestry complex: mater. VII All-Russian National Scientific and Practical Conference with International Participation]*, Petrozavodsk, May 25, 2021. Petrozavodsk: Petrozavodsk State University, 2021, pp. 168–169.
- [5] Grigor'ev I.V., Rudov S.E. *Perspektivy sozdaniya transportnykh sredstv dlya lesozagotovitel'nogo proizvodstva v arkticheskoy zone* [Prospects for the creation of vehicles for logging production in the Arctic zone]. *Lesoekspluatatsiya i kompleksnoe ispol'zovanie drevesiny: sbornik statey Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Forest exploitation and integrated use of wood: collection of articles of the All-Russian Scientific and Practical Conference]*, Krasnoyarsk, March 10, 2021. Krasnoyarsk: Siberian State University of Science and Technology named after Academician M.F. Reshetneva, 2021, pp. 70–74.
- [6] Grigor'eva O.I., Davtyan A.B., Grin'ko O.I., Voynash S.A. *Kontseptsiya universal'noy mashiny dlya vypolneniya lesokhozyaystvennykh rabot i tusheniya lesnykh pozharov* [The concept of a universal machine for performing forestry work and extinguishing forest fires]. *Mashinostroenie: novye kontseptsii i tekhnologii: sbornik statey Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Engineering: new concepts and technologies]*, Krasnoyarsk, October 23, 2020. Krasnoyarsk: Siberian State University of Science and Technology named after Academician M.F. Reshetneva, 2020, pp. 45–49.
- [7] Gerasimov Y., Karjalainen T., Senko S. Nordic forest energy solutions in the Republic of Karelia. *Forests*, 2013, v. 4, no. 4, pp. 945–967. DOI 10.3390/f4040945
- [8] Pitukhin A.V. *Povrezhdaemost' lesozagotovitel'nykh mashin v usloviyakh ekspluatatsii* [Damageability of logging machines under operating conditions]. *Inzhenermy vestnik Dona [Engineering Bulletin of the Don]*, 2018, no. 4 (51), p. 162.
- [9] Shabaev A., Urban A., Pyatin D., Sokolov A. Optimal planning of wood harvesting and timber supply in Russian conditions. *Forests*, 2020, v. 11, no. 6, pp. 1–16. DOI 10.3390/f11060662
- [10] Grigor'ev I.V. *Servisnye kontrakty dlya sovremennykh lesnykh mashin* [Service contracts for modern forest machines]. *Povyshenie effektivnosti lesnogo kompleksa: materialy V Vserossiyskoy natsional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem [Improving the efficiency of the forest complex: materials of the V All-Russian National Scientific and Practical Conference with International Participation]*, Petrozavodsk, May 22, 2019. Petrozavodsk: Petrozavodsk State University, 2019, pp. 26–28.

- [11] Kunitskaya O.A., Chernutskiy N.A., Derbin M.V. *Mashinnaya zagotovka drevesiny po skandinavskoy tekhnologii* [Machine harvesting of wood according to Scandinavian technology]. St. Petersburg: Izdatel'sko-poligraficheskaya assotsiatsiya vysshikh uchebnykh zavedeniy [Publishing and Printing Association of Higher Educational Institutions], 2019. 192 p.
- [12] Mokhirev A.P., Grigor'ev I.V., Kunitskaya O.A., Grigor'eva O.I., Voynash S.A. *Sovershenstvovanie konstruktсии polnopovorotnykh lesozagotovitel'nykh mashin na ekskavatornykh bazakh* [Improving the design of full-turn logging machines on excavator bases]. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny* [Construction and road machines], 2018, no. 6, pp. 43–49.
- [13] Mokhirev A.P., Mamatov V.O., Urazaev A.P. *Modelirovanie tekhnologicheskogo protsessa raboty lesozagotovitel'nykh mashin* [Modeling the technological process of logging machines]. *Mezhdunarodnye nauchnye issledovaniya* [International scientific research], 2015, no. 3(24), pp. 72–74.
- [14] Javůrek P., Dvořák J. Evaluation of total time consumption in harvester technology deployment in conditions of the forest sector of the Czech Republic. *J. of Forest Science*, 2018, v. 64, no. 1, pp. 33–42. DOI 10.17221/92/2017-JFS
- [15] Grigor'ev I.V., Rudov S.E. *Osobennosti ekspluatatsii kolesnykh lesnykh mashin v slozhnykh pochvenno-gruntovykh i rel'efnykh usloviyakh* [Features of the operation of wheeled forest machines in difficult soil and relief conditions]. *Forest Engineering: materialy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* [Forest Engineering: materials of a scientific and practical conference with international participation], Yakutsk, May 30–31, 2018. Yakutsk: NEFU Publishing House, 2018, pp. 67–71.
- [16] Grigor'ev I.V. *Kalibrovka kharvesternykh golovok* [Calibration of harvester heads]. *Nauka i innovatsii: vektory razvitiya: mater. Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh: sb. nauchnykh statey* [Science and innovations: vectors of development: mater. International Scientific and Practical Conference of Young Scientists: Sat. scientific articles], in 2 books, Barnaul, October 24–25, 2018. Barnaul: Altai State Agrarian University, 2018, pp. 78–82.
- [17] Pitukhin A.V., Kil'pelyaynen S.A. *Povrezhdaemost' lesozagotovitel'nykh mashin pri izgotovlenii* [Damageability of logging machines during manufacture]. *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering Bulletin of the Don], 2019, no. 1(52), pp. 67.
- [18] Smith J. Managing equipment health. *Plant Engineering*, 2001, v. 55, no. 8, pp. 30–34.
- [19] Gerasimov Y., Sokolov A., Syunev V. Development trends and future prospects of cut-to-length machinery. *Advanced Materials Research*, 2013, v. 705, pp. 468–473. DOI 10.4028/www.scientific.net/AMR.705.468
- [20] Grigor'ev I.V., Kunitskaya O.A., Fam N.L. *Primenenie mobil'nykh tekhnologiy dlya monitoringa, kontrolya i upravleniya protsessami servisa lesnykh mashin* [The use of mobile technologies for monitoring, control and management of forest machine service processes]. *Innovatsii v khimiko-lesnom komplekse: tendentsii i perspektivy razvitiya: mater. Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Innovations in the chemical-forest complex: trends and development prospects: mater. All-Russian Scientific and Practical Conference], Krasnoyarsk, June 04–05, 2020. Ed. Yu.A. Bezrukikh, E.V. Melnikov. Krasnoyarsk: Siberian State University of Science and Technology named after Academician M.F. Reshetneva, 2020, pp. 143–146.
- [21] Kobzov D.Yu., Eresko S.P. *O kriteriyakh rabotosposobnosti i nadezhnosti gidrotsilindrov* [On the criteria for performance and reliability of hydraulic cylinders]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii* [Systems. Methods. Technologies], 2012, no. 1(13), pp. 38–45.
- [22] Grigor'ev I.V. *Osobennosti ekspluatatsii lesnykh mashin v sil'nye morozy* [Peculiarities of operation of forest machines in severe frosts]. *Novye materialy, oborudovanie i tekhnologii v promyshlennosti: mater. Mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii molodykh uchenykh* [New materials, equipment and technologies in industry: mater. International Scientific and Technical Conference of Young Scientists], Mogilev, October 25–26, 2018. Ed. I.S. Sazonov. Mogilev: Belarusian-Russian University, 2018, p. 102.
- [23] Grigor'eva O.I., Grigor'ev I.V. *Povyshenie effektivnosti kadrovogo obespecheniya lesnogo kompleksa Rossiyskoy Federatsii* [Improving the Efficiency of Staffing the Forest Complex of the Russian Federation]. *Arkhitektura universitetskogo obrazovaniya: postroenie edinogo prostranstva znaniy: sbornik trudov IV Natsional'noy nauchno-metodicheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* [Architecture of University Education: Building a Common Space of Knowledge: Proceedings of the IV National Scientific and Methodological Conference with International Participation], St. Petersburg, January 30 – February 01, 2020. St. Petersburg: St. Petersburg State University of Economics, 2020, pp. 123–130.
- [24] Pilyushina G.A., Pruss B.N. *Analiz prichin otkazov lesozagotovitel'noy tekhniki* [Analysis of the causes of failures of logging equipment]. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa* [Actual problems of the forest complex], 2007, no. 18, pp. 34–38.
- [25] Grigor'ev I.V., Kunitskaya O.A., Grigor'eva O.I. *Obsluzhivanie tsepykh pil'nykh garnitur lesozagotovitel'nykh mashin* [Maintenance of chain saw sets of logging machines]. *Remont. Vosstanovlenie. Modernizatsiya* [Remont. Recovery. Modernization], 2020, no. 8, pp. 14–19. DOI 10.31044/1684-2561-2020-0-8-14-19

Authors' information

Mokhirev Aleksandr Petrovich ✉ — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the Department of Highways and Urban Structures of the Siberian Federal University, ale-mokhirev@yandex.ru

Kunitskaya Ol'ga Anatol'evna — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the Department of «Environmental Management» of the Northern (Arctic) Federal University, ola.ola07@mail.ru

Kalita Georgiy Aleksandrovich — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Department of Technology of Forest Management and Landscape Construction of the Pacific National University, g.kalita@mail.ru

Verner Nadezhda Nikolaevna — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Department of Applied Mechanics and Engineering Graphics of the Saint-Petersburg State Forestry University, wernern@mail.ru

Shvetsova Viktoriya Viktorovna — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of Descriptive Geometry and Engineering Graphics, Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, St. Petersburg, vikt.schvetsova2012@yandex.ru

Received 01.02.2022.

Approved after review 09.06.2022.

Accepted for publication 15.08.2022.

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

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ БЛЕСКА НЕПРОЗРАЧНЫХ ЗАЩИТНО-ДЕКОРАТИВНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ДРЕВЕСИНЕ И ДРЕВЕСНЫХ МАТЕРИАЛАХ

Б.М. Рыбин^{1✉}, И.А. Завражнова¹, Д.Б. Рыбин²

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

²ООО «Тимберланд», 141805, Московская обл., Дмитровский р-н, рабочий Поселок Некрасовский, ул. Северная, д. 10

rybin@mgul.ac.ru

Существенной проблемой в производстве мебели является объективная оценка отражающих свойств поверхностей покрытий по блеску. На показания приборов оказывает влияние различные факторы: цвет, насыщенность, светлота поверхности, шероховатость исследуемой поверхности покрытия, показатель преломления цветного вещества и т. д. Проведенные расчеты показали незначительность коэффициентов поглощения и отражения видимого излучения для цветных веществ (для различных диапазонов длин волн — не более 10 %). Хотя при отражении света от поверхности цветного вещества наблюдается доминирующий диапазон длин волн видимого спектра излучения, характеризующий цвет, но энергетические характеристики его по отношению к отраженному потоку являются незначительными. Полный отраженный поток характеризует блеск покрытия, а доминирующий цветной поток — цвет вещества. Для цветных веществ невозможно использование показателя преломления в оптических расчетах. При поглощении и отражении видимого спектра излучения от цветных веществ наблюдается аномальная дисперсия (значения показателя преломления изменяются по различным зависимостям внутри полосы поглощения света и за ее пределами). Использование известных блескомеров для оценки блеска непрозрачных цветных защитно-декоративных покрытий требует совершенствования существующих методов или разработка новых, позволяющих решить многофакторную задачу влияния на блеск цвета, насыщенности, светлоты и шероховатости исследуемых поверхностей.

Ключевые слова: блеск непрозрачного цветного покрытия

Ссылка для цитирования: Рыбин Б.М., Завражнова И.А., Рыбин Д.Б. К вопросу определения блеска непрозрачных защитно-декоративных покрытий на древесине и древесных материалах // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 5. С. 102–111. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-5-102-111

В настоящее время непрозрачные цветные покрытия широко используются в производстве мебели. Как правило, они являются защитно-декоративными на фасадных поверхностях изделий. Материалами для них выступают цветные пленки или жидкие лакокрасочные материалы на основе эмалей и красок. Разнообразие цветовых тонов таких покрытий позволяет создавать интересные поверхности изделий, сочетающиеся по цветовой гамме и улучшающие их внешний вид.

Оценка цвета покрытий не вызывает затруднений, для этого используются колориметры различного вида или атласы цветов. Существенную проблему составляет объективная оценка отражающих свойств по блеску поверхности, поскольку в состав таких покрытий входят полимеры в виде связующих веществ и вещества, несущие цветовые свойства покрытию. Для полимеров отражение света характеризуется френелевским отражением от исследуемой поверхности [1]. В качестве веществ, несущих цветовые свойства, в большинстве случаев используются пигменты и другие вещества, представляющие собой минеральные кристаллы, неорганические и органические

соединения. Отражение света от этих веществ имеет сложный характер. Цветовая составляющая отражения зависит от многих факторов, в том числе и от показателя преломления, который, в свою очередь, зависит от длины волны отражающего света. Проявление цветности укладывается в представление квантовомеханической теории [2]. Фотоны, т. е. частицы характеризующие цвет, в потоке света взаимодействуют с электронами в молекуле вещества, возбуждают их и вызывают явление цвета. В простом веществе для появления цвета важно состояние электронов отдельных атомов, в кристаллах — пространственное расположение, химическая связь и изменяющееся при этом положение энергетических электронных уровней. В соединениях неорганических веществ важное значение имеет поляризация ионов, приводящая к ионному распределению электронной плотности по сравнению с состоянием электронной оболочки отдельных атомов. В органических молекулах основное значение имеет система связей, создающая «ансамбль» электронов, в котором особая роль отводится π -электронам.

Сложный характер взаимодействия падающего света с веществом, несущим цвет, не позволяет в настоящее время определить зависимость блеска

цветных покрытий от многофакторной системы его отражения. В мировой и отечественной практике отсутствуют методы объективной оценки блеска непрозрачных цветных защитно-декоративных покрытий на различных подложках. Оценка блеска таких покрытий осуществляется путем визуального сравнения контролируемой поверхности покрытия с поверхностью образца.

Цель работы

Цель работы — определение факторов, оказывающих влияние на блеск непрозрачных цветных защитно-декоративных покрытий на древесине и древесных материалах.

Материалы и методы

Для проведения испытаний в экспериментах были использованы непрозрачные цветные защитно-декоративные покрытия, различные по степени отражения света: высокоглянцевые, глянцевые и матовые. Цветовая гамма покрытий охватывала весь спектр видимого излучения.

За основу оценки блеска контролируемых поверхностей был взят метод определения степени отражения света по величине фототока, возбуждаемого в фотоприемнике под действием зеркально отраженных лучей от поверхности покрытия под определенным углом.

В качестве приборов использовались блескомер ФБ-2 и блескомер модели БФБМ-85/85 [1]. В условном обозначении последнего четыре цифры через разделительную черту указывают углы соответственно падения-отражения света, при которых проводится определение блеска. У блескомера ФБ-2 угол падения-отражения света составляет 45°.

Исследуемые защитно-декоративные покрытия различались между собой по степени отражения света за счет наблюдаемых на их поверхностях неровностей. Контроль неровностей по высоте осуществлялся по параметрам шероховатости с помощью профилометра модели 130 [1].

Цветовые характеристики покрытий по длине волны, насыщенности и светлоте определялись с помощью атласа цветов Е.Б. Рабкина [3]. Кроме того, белизна поверхности покрытий контролировалась по блескомеру ФБ-2, а для определения колориметрических характеристик отраженного света от контролируемых поверхностей покрытий использовался универсальный фотометр ФМ-56.

Результаты и обсуждение

Этот раздел статьи состоит из трех частей, в каждой из которых рассматривается конкретная задача. Первоначально дается теоретическое представление поглощения-отражения света от

цветных поверхностей. Затем рассматривается показатель преломления контролируемых цветных покрытий с позиций релятивистской механики. И в заключительной части приводятся результаты исследования некоторых факторов, оказывающих влияние на блеск непрозрачных цветных защитно-декоративных покрытий.

Энергетические характеристики поглощения и отражения видимого спектра электромагнитного излучения. Известно, что если энергия световых волн всей видимой части спектра одинаково поглощается или отражается, то вещество (поверхность) кажется белым или бесцветным. Если же вещество пропускает или отражает преимущественно лучи определенных длин волн, то оно становится окрашенным в тот или иной цвет в зависимости от длины волн излучения, дошедших до наших глаз. Цвет вещества, воспринимаемый, является дополнительным к тому цвету, который поглотило вещество [4].

Согласно соотношению Планка, энергия квантов излучения света, или фотонов, пропорциональна частоте колебаний [5]

$$E = h\nu, \quad (1)$$

где E — энергия излучения, Дж;

h — постоянная Планка ($6,6254 \cdot 10^{-34}$ Дж·с);

ν — частота излучения, с^{-1} .

Число квантов, составляющих 1 моль, равно числу Авогадро $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ моль $^{-1}$. Учитывая соотношение между частотой ν , длиной волны λ и скоростью света c , соотношение Планка можно записать в виде формулы

$$E = hcN_A/\lambda, \quad (2)$$

где c — скорость света ($3 \cdot 10^8$ м/с);

λ — длина волны излучения, нм.

После подстановки в выражение (2) значений всех известных перечисленных величин с учетом их единиц измерения, получаем формулу для расчета

$$E = 1,196 \cdot 10^8 \cdot 1/\lambda, \text{ Дж/моль}. \quad (3)$$

Спектр видимого электромагнитного излучения по длине волны от 380 нм (фиолетовая область) до 760 нм (красная область) состоит из отдельных цветов. Как правило, определенная цветовая область находится в интервале длин волн. Например, фиолетовый цвет находится в пределах от 380 до 435 нм, голубой — от 435 до 480 нм и т. д.

Для того, чтобы определить энергию электромагнитного излучения в любом диапазоне длин волн видимого спектра, следует решить интеграл [6] приведенной функции (3). После подстановки верхнего и нижнего предела интегрирования [7] функция (3) преобразуется в следующий вид

$$E = \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} 1,196 \cdot 10^8 \frac{1}{\lambda} d\lambda =$$

$$= 1,196 \cdot 10^8 (\ln \lambda_{\max} - \ln \lambda_{\min}). \quad (4)$$

Если вещество способно поглощать только кванты определенной длины волны, то этим однозначно определяется цвет вещества. Поглощенный цвет как бы «вычитается» из общего белого луча, и видимый цвет будет дополнительным к поглощенному. Энергия белого цвета E_0 видимого электромагнитного излучения, вычисленная по формуле (4), при интегрировании зависимости в диапазоне длин волн 380...760 нм составляет 82882,8 кДж/моль. Воспользуемся данными [5] по диапазону длин волн видимого спектра излучения, характеризующему определенный цвет, а также данными [8], характеризующими поглощательную способность веществ в определенном диапазоне с возникновением отражательной цветовой характеристики. Интегрируя зависимость (4) в конкретной области спектра, можно рассчитать процентные характеристики для поглощения и отражения света определенного цвета вещества (табл. 1).

Энергия поглощенного цвета определяется для каждого диапазона длин волн. Например, для фиолетовой области в диапазоне длин волн от 380 до 435 нм энергия поглощенного цвета ($E_{\lambda_i}^n$) составила 16146,8 кДж/моль. При энергии белого луча $E_0 = 82882,8$ кДж/моль поглощение фиолетовых лучей составляет 19,48 %, т. е. 80,52 % лучей в этом случае отразится от поверхности вещества. Тогда $E_0 = 82882,8 - 16146,8 = 66736,0$ кДж/моль. В случае поглощения фиолетового цвета, поверхность вещества будет отражать лучи в доминирующей области длин волн от 560 до 580 нм, что соответствует желто-зеленой области видимого спектра электромагнитного излучения.

Для этой области по зависимости (4) можно рассчитать энергию отражения, которая составляет $E_{\lambda_i}^o = 4305,6$ кДж/моль. Зная энергию отраженного цвета желто-зеленой области, можно рассчитать отражение, которое составляет 6,45 %. Подобные вычисления были выполнены для приведенных в табл. 1 вариантов. Расчеты учитывают падающий и поглощенный свет веществом. Считаем, что рассматриваемые вещества обладают значительной толщиной и непрозрачностью. Падающий световой поток не проходит через толщу вещества.

В приведенном табличном примере рассматривается один из вариантов, который предусматривает поглощение зеленого цвета веществом при отражении им пурпурного. Этот цвет не является спектральным, а образуется при смешивании фиолетового и красного в разных пропорциях. Поскольку для пурпурного цвета нет своих значений

диапазона длин волн, его цветовой тон определяется длинами волн того цвета, который располагается на противоположном конце диаметра цветового круга, но со знаком минус. Так цветовой тон пурпурных цветов заключается в диапазоне длин волн от (-)493 до (-)567 нм [9], что соответствует зеленой области видимых лучей света.

Приведенные в табл. 1 данные позволяют сделать следующие выводы. Поглощение видимого электромагнитного излучения веществом в диапазоне различных длин волн имеет разные значения. Так, максимальное его значение 32,9 % приходится на красную область спектра, минимальные значения от 2,45 до 5,19 % относятся к оранжевой, зеленовато-голубой, желтой и желто-зеленой областям спектра. Значения поглощения в областях голубого, зеленого и фиолетового цветов соответственно составляют 14,14; 16,30 и 19,48 %. Приведенные значения поглощения позволяют говорить о значительном отражении падающих лучей видимого спектра электромагнитного излучения. Отражение света составляет более 67,1 %, что соответствует отражению при поглощении веществом красной области спектра. Максимальное его значение 97,55 % соответствует при поглощении веществом оранжевой области спектра.

Расчет энергии отраженного света для каждого диапазона длин волн показал, что максимальное значение отражения составляет 33,87 %. Это относится к диапазону длин волн при поглощении голубовато-зеленого и при отражении веществом красной области спектра.

Приведенные значения выполненных расчетов показывают, что падающие лучи видимого спектра излучения незначительно поглощаются веществом в доминирующем диапазоне длин волн. Но также незначительным в процентном отношении является и отражающая характеристика доминирующих длин волн, характеризующих цвет вещества. Отсюда наблюдается сложный процесс отражения света цветным веществом, заключающийся в том, что в отраженном спектре хотя и наблюдается доминирующая область видимых лучей, но также присутствуют в разных пропорциях все другие, за исключением поглощенных. Это, в свою очередь, оказывает влияние на цветовые характеристики поверхности вещества, а также на отражательную характеристику, связанную с блеском.

Показатель преломления вещества с позиций релятивистской механики. Явление отражения света от поверхностей, обладающих цветом, связано с дисперсией. Оно обусловлено зависимостью показателя преломления вещества от длины (или частоты) волны видимого спектра электромагнитного излучения. Для всех прозрачных веществ показатель преломления возрастает

**Энергия поглощения-отражения видимого электромагнитного излучения
в определенном диапазоне длин волн**

Absorption-reflection energy of visible electromagnetic radiation in a certain wavelength range

Цвет поглощения в диапазоне длин волн, нм	Энергия поглощенного цвета в данном диапазоне длин волн $E_{\lambda, \rho}^{\pi}$, кДж/моль	Поглощение данного диапазона длин волн $\frac{E_{\lambda_i}^{\pi}}{E_{\delta}^{\pi}} \cdot 100, \%$	Энергия отраженного света $E_o = E_{\delta}^{\pi} - E_{\lambda_i}^{\pi}$, кДж/моль	Цвет отражения в диапазоне длин волн, нм	Энергия отраженного цвета в данном диапазоне длин волн $E_{\lambda_i}^{\circ}$, кДж/моль	Отражение данного диапазона длин волн $\frac{E_{\lambda_i}^{\circ}}{E_o} \cdot 100, \%$
Фиолетовый 380...435	16146,8	19,48	66736,0	Желто-зеленый 560...580	4305,6	6,45
Голубой 435...480	11720,8	14,14	71162,0	Желтый 580...595	2990,0	4,20
Зеленовато-голубой 480...490	2511,6	3,03	80371,2	Оранжевый 595...605	2033,2	2,52
Голубовато-зеленый 490...500	2392,0	2,88	80490,8	Красный 605...760	27268,8	33,87
Зеленый 500...560	13514,8	16,30	69368,0	Пурпурный (-)493...(-)567	13514,8	19,48
Желто-зеленый 560...580	4305,6	5,19	78577,2	Фиолетовый 380...435	16146,8	20,54
Желтый 580...595	2990,0	3,60	79892,8	Голубой 435...480	11720,8	14,67
Оранжевый 595...605	2033,2	2,45	80849,6	Зеленовато-голубой 480...490	2511,6	3,10
Красный 605...760	27268,8	32,90	55614,0	Голубовато-зеленый 490...500	2392,0	4,30

с уменьшением длины волны. Такой характер дисперсии является нормальным [10] и описывается формулой Коши [11]

$$n = a + \frac{b}{\lambda^2} + \frac{c}{\lambda^4} + \dots, \quad (5)$$

где n — показатель преломления;

a, b, c — постоянные, которые для каждого вещества определяются экспериментально;

λ — длина волны света.

Использование показателя преломления как оптической характеристики цветного вещества для расчета интенсивности отражения видимого излучения от контролируемой поверхности по формулам Френеля является затруднительным [12]. Падающий световой поток видимого спектра излучения содержит в своем составе кванты света, различные по своим характеристикам и, в частности, по длине волны, скорости движения и массе. Кванты света — фотоны воздействуют на поверхностный слой вещества. В результате происходит обмен энергиями, которые приводят к явлениям поглощения — отражения света с возникновением у цветных веществ различных цветов. Обмен энергиями падающего светового потока с веществом поверхностного слоя происходит в результате изменения массы лучистого

потока по отдельным длинам волн. Изменяется наряду с этим скорость фотонов, приводящая к изменению оптических характеристик, и в частности показателя преломления.

Рассмотрим с позиций релятивистской механики факторы, оказывающие влияние на показатель преломления видимого спектра электромагнитного излучения.

Теоретическая Формула Эйнштейна [13], выражающая зависимость массы от скорости, имеет вид

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad (6)$$

где m — масса движущейся частицы;

m_0 — масса покоящейся частицы в системе координат, по отношению к которой она неподвижна;

v — скорость движущейся частицы;

c — скорость света.

Формулу (6) можно представить в виде

$$m = m_0 \left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right)^{-\frac{1}{2}}. \quad (7)$$

Используя [14] бином Ньютона для дробных и отрицательных показателей, формулу (7) можно привести к следующему виду, взяв после преобразований только три члена

$$m = m_0 \left(1 + \frac{1}{2} \frac{v^2}{c^2} + \frac{3}{8} \frac{v^4}{c^4} \right). \quad (8)$$

Согласно основным положениям современной физики, изменению энергии какой-либо системы соответствует изменение ее массы [13]. Преобразование формулы (8) дает возможность определить изменение массы Δm

$$\Delta m = m - m_0 = m_0 \frac{v^2}{2c^2} + m_0 \frac{3v^4}{8c^4}. \quad (9)$$

Используя формулы Планка и Эйнштейна [10], изменение энергии от изменения массы можно представить в виде следующей зависимости

$$\Delta m = \frac{\hbar \cdot \nu}{c^2}. \quad (10)$$

Объединяем формулы (9) и (10)

$$\frac{\hbar \nu}{c^2} = m_0 \frac{v^2}{2c^2} + m_0 \frac{3v^4}{8c^4}. \quad (11)$$

Выполнив соответствующие преобразования и подстановки $\nu = v/\lambda$ и $n = c/v$ (показатель преломления), зависимость (11) можно представить в виде

$$\frac{\hbar}{\lambda} = m_0 \frac{v}{2} \left(1 + 0,75 \frac{1}{n^2} \right). \quad (12)$$

Показатель преломления из формулы (12) определяется по выражению

$$n = 0,866 \sqrt{\frac{1}{\frac{2\hbar}{\lambda \nu m_0} - 1}}. \quad (13)$$

Из выражения (13), следует, что показатель преломления зависит от длины волны и импульса частицы ($m_0 \nu$), т. е. произведения массы частицы на скорость движения. Подкоренное выражение должно быть больше 1,154, поскольку показатель преломления больше 1,0.

Если $\frac{2\hbar}{\lambda \nu m_0} > 1$, то $2\hbar > \lambda \nu m_0$. Отсюда из формулы (13) следует, что с увеличением длины волны уменьшается значение дроби $\frac{2\hbar}{\lambda \nu m_0}$.

При этом увеличивается значение подкоренного выражения и вместе с этим увеличивается значение показателя преломления. И наоборот, с уменьшением значения длины волны значение показателя преломления уменьшается. Как было отмечено выше, изменение показателя преломления в зависимости от длины волны приводит

к аномальной дисперсии видимого спектра электромагнитного излучения, что не подтверждает формулу Коши (5).

Аномальная дисперсия может возникать в спектральных областях, соответствующих полосам поглощения вещества. Внутри полос поглощения значение показателя преломления увеличивается с ростом длины волны света. В коротковолновой части полосы поглощения значение показателя преломления обычно уменьшается с увеличением длины волны света. Однако это уменьшение происходит значительно быстрее, чем вне полосы [8]. Некоторое количество света спектрального состава, соответствующего полосе поглощения, распространяется по веществу. В классической теории полного поглощения такой свет по веществу распространяться не может, и в этой области нельзя измерить величину показателя преломления. В длинноволновой части полосы поглощения величина показателя преломления имеет большее значение, чем в коротковолновой, но уменьшается с увеличением длины волны. Таким образом, на краях полосы поглощения дисперсия является нормальной, а в середине полосы поглощения зависимость изменяет свой ход.

Отсюда использование показателя преломления как оптической характеристики цветных веществ в расчетах по определению интенсивности поглощения-отражения света видимого спектра электромагнитного излучения не представляется возможным.

Исследование некоторых факторов, влияющих на блеск непрозрачных цветных защитно-декоративных покрытий. В исследованиях использованы 50 различных образцов цветных защитно-декоративных покрытий. Цветовые характеристики для них были определены с помощью атласа цветов Е.Б. Рабкина. Данные значений некоторых образцов по длине волны, насыщенности и светлоте приведены в табл. 2.

Практически образцы в целом представляют по длине волны все цвета видимого спектра в диапазоне от 700 нм (область красного цвета) до 476 нм (область голубого цвета). Подтверждением цветовых характеристик для всех образцов по атласу цветов являются показатели отражения света по фотометру ФМ-56, определенные для длин волн 639 нм (красная область), 550 нм (зеленая область) и 478 нм (синяя область). Полученные значения по фотометру ФМ-56 согласуются с характеристикой образцов по длине волны отражения света, полученные по атласу цветов. Так, образец «Бордо» по атласу цветов отражает цвет с длиной волны 700 нм. Показатель отражения по фотометру ФМ-56 для красного цвета ($\lambda = 639$ нм) составляет 64,8 %, что говорит о доминирующей длине волны отражения света

Отражательные характеристики цветных непрозрачных защитно-декоративных покрытий

Reflective characteristics of colored opaque protective and decorative coatings

Образец покрытия (условное наименование)	Шероховатость поверхности по параметру R_a , мкм	Показатели цвета по атласу Е.Б. Рабкина			Показатели отражения света по фотометру ФМ-56 разных длин волн, %			Показатели по блескомеру ФБ-2, усл. ед.		Блеск по БФБМ 85/85, усл. ед.
		Длина волны, нм	Насыщенность, %	Светлота, %	639 нм	550 нм	478 нм	Блеск	Белизна	
Бордо	0,035	700	15	11	64,8	13,5	21,7	55	11	60
Красный Soft touch	0,199	650	38	17	79,7	7,2	13,1	4	43	3
Тирольский бук	0,387	614	8	9	44	24	32	11	9	18
Вишня авиола	0,041	600	50	18,5	65,6	21,8	12,9	58	11	59
Антик	0,662	594	33	23,5	58,4	24,5	17,1	10	32	17
Беленый дуб	0,352	589	16	48,5	36,7	32,9	30,4	6	75	2
Лимон NEW	0,179	574	35	32,5	35,8	33,7	30,5	16	46	23
Зеленый чай	0,013	553	20	47	2,9	63,8	33,3	65	60	61
Олива NEW	2,18	547	65	9	36	42,4	21,6	9	13	4
Полынь	0,093	545	32	39,5	24,1	38,7	37,2	10	65	15
Дуб беленый NEW	0,194	485	1,0	12,5	34,3	33,1	33,6	6	48	8
Бирюза	0,090	476	7,5	15	13,5	24,6	61,9	10	12	19

от поверхности этого образца, представляющей красную область видимого излучения. Показатели отражения для этого образца на длинах волн 550 и 478 нм соответственно составили 13,5 и 21,7 %, т. е. наряду с красным цветом отраженный световой поток содержит в некотором количестве зеленый и синий цвета. Это подтверждается ранее полученными значениями данных при рассмотрении энергетических характеристик при поглощении-отражении света от поверхностей цветных веществ (см. табл. 1).

Из 12 образцов, представленных в табл. 2, только на трех данные по фотометру ФМ-56 не подтверждают значения доминирующих длин волн, полученных по атласу цветов. Эти образцы имеют цвета, отнесенные к желтой, желто-зеленой и голубовато-зеленой областям видимого спектра излучения. Для них по фотометру ФМ-56 показатели отражения имеют практически одинаковые значения для красной, зеленой и синей областей спектра. Это связано с тем, что энергетическая отражательная характеристика в области длин волн желтого, желто-зеленого и голубовато-зеленого цвета незначительна и соответственно составляет 4,20; 6,45 и 4,30 % (см. табл. 1). Отраженный свет от поверхности этих образцов составляет более 90 % и представляет набор лучей других длин волн помимо доминирующих по цвету. Можно предположить, что оптическое перемешивание их со светом доминирующей длины волны изменяет насыщенность цвета и светлоту. Это характерно также для областей ви-

димого излучения оранжевого и зеленовато-голубого, где отражательная характеристика в области этих длин волн соответственно составляет 2,52 и 3,10 % (см. табл. 1).

Показатели светлоты поверхности исследуемых образцов, полученные по атласу цветов, хорошо согласуются со значениями белизны поверхности, определенные по блескомеру ФБ-2 (рис. 1).

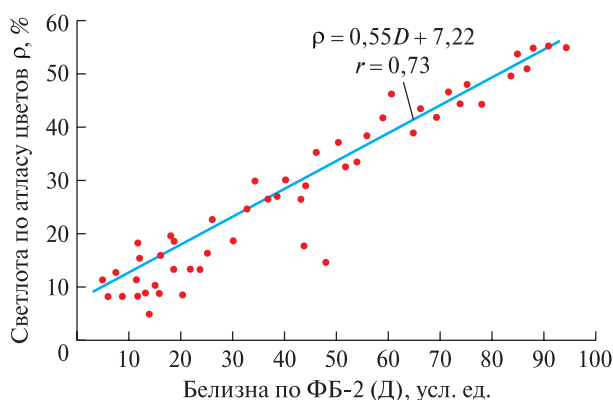


Рис. 1. Зависимость светлоты защитно-декоративного цветного покрытия от белизны поверхности

Fig. 1. Dependence of the lightness of the protective and decorative color coating on the whiteness of the surface

Показатели белизны по блескомеру ФБ-2 и светлоты по атласу цветов характеризуют собственно коэффициент отражения падающих лучей света от исследуемой поверхности покрытия [16–21]. Отсюда между этими показателями наблюдается тесная связь в виде прямолинейной

зависимости со значимым коэффициентом корреляции $r = 0,73$, определенным с использованием методик, изложенных в работах [21–23]. На рис. 1 приведены также значения светлоты-белизны в декартовой системе координат для 50 образцов цветных покрытий. Приведенные точки значений характеризуют минимальный разброс данных. Зависимость в виде прямой линии между светлотой и белизной исследуемой поверхности покрытия облегчает дальнейшее использование этих показателей для характеристики цветных покрытий. Зная один из этих показателей, другой можно всегда определить вычислением по формуле

$$\rho = 0,55 D + 7,22, \quad (14)$$

где ρ — светлота покрытия по атласу цветов, %;
 D — белизна покрытия по ФБ-2, усл. ед.

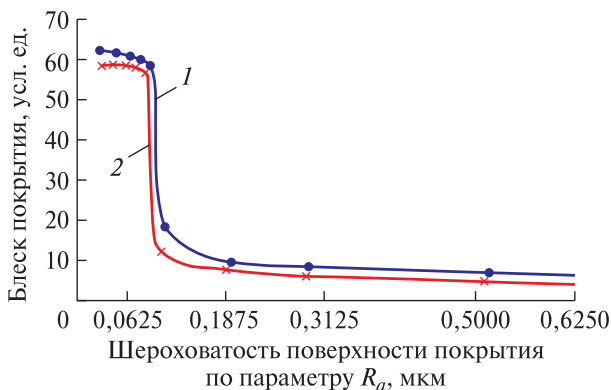


Рис. 2. Зависимость блеска цветного защитно-декоративного покрытия от шероховатости поверхности: 1 — БФБМ 85/85; 2 — ФБ-2

Fig. 2. Dependence of the gloss of a colored protective and decorative coating on the surface roughness: 1 — BFBM 85/85; 2 — FB-2

Блеск исследуемых цветных защитно-декоративных покрытий зависит от многих факторов. Одним из них является шероховатость поверхности [23, 24]. На рис. 2 приведены зависимости блеска цветных защитно-декоративных покрытий от шероховатости поверхности. Шероховатость поверхности контролировалась по параметру R_a . Для этого использовался профилометр модели 130. Блеск покрытий определялся по блескомерам БФБМ 85/85 и ФБ-2. Блескомеры для исследования выбраны не случайно. В настоящее время они используются для определения блеска прозрачных защитно-декоративных покрытий. Углы, под которыми происходит контроль блеска, дают возможность определять отражательную способность исследуемых покрытий при различных коэффициентах отражения света. Так, блескомер ФБ-2 определяет блеск под углом 45° . Коэффициент отражения света, по Френелю [10], при этом угле составляет не более 6 %. Блескомер БФБМ 85/85 определяет блеск под углом 85° .

Коэффициент отражения покрытий под этим углом составляет более 60 %.

Представленные на рис. 2 графики изменения блеска покрытий по блескомерам в зависимости от шероховатости поверхности имеют сходный характер. С увеличением шероховатости поверхности уменьшаются значения блеска по приборам. На рис. 2 линии графиков проходят через диапазоны значений высокоглянцевых (ВГ), глянцевых (ГЛ) и матовых (М) покрытий. Доказано [1, 25], что на ВГ покрытиях высота неровностей, определяемая по параметру шероховатости R_a , должна находиться в диапазоне значений (мкм) $0 \leq R_a \leq 0,0625$. Для глянцевых — $0,0625 \leq R_a \leq 0,3750$ и матовых — $R_a > 0,3750$ мкм.

Приведенные линии графиков для различных блескомеров имеют практически сходный характер изменения блеска покрытий в зависимости от шероховатости исследуемой поверхности. Это наблюдается во всех диапазонах шероховатости поверхности покрытий, что вызывает некоторое сомнение. При значении более 0,0625 мкм, соответствующем высокоглянцевым покрытиям [23], высота неровностей сравнима с половиной длины волны видимого спектра излучения. Блеск покрытий в этом диапазоне неровностей должен незначительно изменяться в пределах значений 59...62 усл. ед. по блескомерам [1], что и показывают графики для диапазона высокоглянцевых покрытий (см. рис. 2). В диапазоне значений глянцевых и матовых покрытий характер поведения графиков должен различаться. Блескомер ФБ-2 определяет блеск покрытия при малом значении коэффициента отражения света. На его показания значительное влияние оказывает диффузная составляющая отражения, характеризующая увеличение шероховатости поверхности покрытия. Отсюда характер изменения блеска покрытий при увеличении шероховатости для этого блескомера будет соответствовать результатам, приведенным на рис. 2.

Блескомер БФБМ 85/85 определяет блеск покрытия при значении коэффициента отражения света примерно 60 %. Диффузная составляющая при углах 85° незначительна по сравнению с зеркальной составляющей, характеризующей блеск покрытия. Значения блеска при использовании этого блескомера также будут уменьшаться с увеличением шероховатости в области глянцевых и матовых покрытий. Как показывает практика [1], блеск уменьшается в пределах 10...15 % по сравнению со значениями блеска высокоглянцевых покрытий. На рис. 2 график показывает значительное уменьшение показаний блеска при увеличении шероховатости поверхности покрытий, что не соответствует практике ранее выполненных исследований и требует дальнейшего

рассмотрения отражения света от цветных покрытий с использованием этого блескомера.

Проведенный анализ полученных результатов использования блескомера ФБ-2 и БФБМ 85/85 показал, что в настоящее время методики применения этих блескомеров недостаточно изучены для определения на их основе блеска непрозрачных, цветных защитно-декоративных покрытий. Предполагаемыми факторами, влияющими на их показания при определении блеска, являются изменяющиеся показатели цвета, насыщенности и светлоты, а также показатель преломления вещества покрытий и шероховатость исследуемой поверхности. Следует провести эксперименты по выявлению зависимостей блеска от этих факторов как по отдельности, так и при совокупном их изменении, что и будет являться основой дальнейших исследований.

Выводы

В настоящее время в отечественной и зарубежной практике отсутствуют объективные методы оценки блеска непрозрачных цветных защитно-декоративных покрытий. Свет, отраженный поверхностью цветного покрытия в определенном диапазоне длин волн, является дополнительным к поглощенному веществом. При определенной длине волны поглощенного цвета становится известен цвет вещества. Процент отражения цвета в определенном диапазоне длин волн для непрозрачных цветных покрытий составляет от 2,5 до 33 %.

Сложный процесс отражения света цветным веществом заключается в том, что в отраженном спектре хотя и наблюдается доминирующая область видимых лучей, определяющая цвет вещества, но также присутствуют в разных пропорциях все другие, за исключением поглощенных.

Показатель преломления цветных веществ зависит от многих факторов. Доказано, что изменение показателя преломления от длины волны видимого спектра излучения приводит к аномальной дисперсии. Это затрудняет использование показателя преломления как существенного фактора, влияющего на блеск непрозрачных цветных покрытий.

Использование известных блескомеров для оценки блеска непрозрачных цветных защитно-декоративных покрытий требует разработки более детальных методик.

Список литературы

[1] Рыбин Б.М., Завражнова И.А., Рыбин Д.Б. К вопросу стандартизации метода определения блеска прозрачных лаковых покрытий на древесине и древесных материалах // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. № 2. С. 57–67.

- [2] Ландсберг Г.С. Общий курс физики. Т. 3. Оптика. М.—Л.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1941. 559 с.
- [3] Рабкин Е.Б. Атлас цветов. М.: Государственное издательство медицинской литературы. М.: Медгиз, 1956. 52 с.
- [4] Фадеев Г.Н. Химия и цвет: кн. для внеклассного чтения. М.: Просвещение, 1983. 160 с.
- [5] Кошкин Н.И., Ширкевич М.Г. Справочник по элементарной физике. М.: Наука, 1972. 256 с.
- [6] Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. М.: Наука, 1986. 544 с.
- [7] Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике. М.: Наука, 1973. 872 с.
- [8] Брилл Т. Свет: воздействие на произведения искусства. М.: Мир, 1983. 307 с.
- [9] Международный светотехнический словарь. М.: Русский язык, 1979. 278 с.
- [10] Борн М., Вульф Э. Основы оптики. М.: Наука, 1973. 719 с.
- [11] Аненко М.И., Араев В.А., Афанасьев В.А. Оптические приборы в машиностроении. Справочник. М.: Машиностроение, 1974. 238 с.
- [12] Топорец А.С. Фотометрический метод определения средней высоты микронеровностей шероховатой поверхности // Оптико-механическая промышленность, 1969. № 6. С. 60–64.
- [13] Элементарный учебник физики / под ред. Г.С. Ландсберга. Т. 3. Колебания, волны. Оптика. Строение атома. М.: Наука, 1975. 640 с.
- [14] Выгодский М.Я. Справочник по элементарной математике. Издание двадцать третье. М.: Наука, 1975. 416 с.
- [15] Мельников Ю.Ф. Светотехнические материалы. М.: Высшая школа, 1976. 151 с.
- [16] Долгополов В.И. Светотехнические материалы. М.: Энергия, 1972. 168 с.
- [17] Миннарт М. Свет и цвет в природе. М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1959. 424 с.
- [18] Шаронов В.В. Свет и цвет. М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1961. 311 с.
- [19] Фриллинг Г., Ауэр К. Человек — цвет — пространство. М.: Стройиздат, 1973. 141 с.
- [20] Рыбин Б.М. Исследование влияния светлоты подложки на показания прибора ФБ-2 при оценке блеска зеркальных лаковых покрытий // Научные труды МЛТИ, 1981. Вып. 140. С. 39–42.
- [21] Пижурин А.А. Современные методы исследования технологических процессов в деревообработке. М.: Лесная пром-сть, 1972. 248 с.
- [22] Леонтьев Н.А. Техника статистических вычислений. М.: Лесная пром-сть, 1966. 250 с.
- [23] Рыбин Б.М. Технология и оборудование защитно-декоративных покрытий древесины и древесных материалов. М.: МГУЛ, 2003. 568 с.
- [24] Рыбин Б.М. Оценка блеска прозрачных лаковых покрытий // ИВУЗ Лесной журнал, 1990. № 6. С. 53–58.
- [25] Завражнова И.А. Метод оценки и разработка нормативов блеска защитно-декоративных покрытий на древесине и древесных материалах: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.05. Москва, 2016. 21 с.

Сведения об авторах

Рыбин Борис Матвеевич✉ — д-р техн. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), rybin@mgul.ac.ru

Завражнова Ирина Анатольевна — канд. техн. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), zavrazhnova@mgul.ac.ru

Рыбин Дмитрий Борисович — технолог ООО «Тимберланд», wood@yandex.ru

Поступила в редакцию 01.03.2022.

Одобрено после рецензирования 11.07.2022.

Принята к публикации 15.08.2022.

DETERMINING GLOSS OF OPAQUE PROTECTIVE AND DECORATIVE COATINGS ON WOOD AND WOOD-BASED MATERIALS

B.M. Rybin¹✉, I.A. Zavrazhnova¹, D.B. Rybin²

¹BMSTU (Mytishchi Branch), 1, 1st Institut'skaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

²Timberland LLC, 10, Severnaya st., 141805, Dmitrovsky District, working village Nekrasovsky, Moscow reg., Russia

rybin@mgul.ac.ru

A significant problem in the production of furniture is an objective assessment of the reflective properties of coating surfaces by gloss. Instrument readings are influenced by various factors such as color, saturation, lightness of the surface, roughness of the coating surface under study, the refractive index of a colored substance, etc. The calculations showed that the coefficients of absorption and reflection of visible radiation for colored substances are insignificant over 10 %. Although when light is reflected from the surface of a colored substance, the dominant wavelength range of the visible radiation spectrum is observed, which characterizes color, but its energy characteristics in relation to the reflected flux are insignificant. The total reflected flux characterizes the gloss of the coating, and the dominant color flux characterizes the color of the substance. For colored substances, it is not possible to use the refractive index in optical calculations. When absorbing and reflecting the visible spectrum of radiation from colored substances, anomalous dispersion is observed (the values of the refractive index change according to various dependencies inside the light absorption band and beyond it). The use of known gloss meters for assessing the gloss of opaque colored protective and decorative coatings requires the improvement of existing methods or the development of new ones that allow solving the multifactorial problem of influencing the gloss of color, saturation, lightness and roughness of the studied surfaces.

Keywords: gloss of opaque color coating


Suggested citation: Rybin B.M., Zavrazhnova I.A., Rybin D.B. *K voprosu opredeleniya bleska neprozrachnykh zaschitno-dekorativnykh pokrytyy na drevesine i drevesnykh materialakh* [Determining gloss of opaque protective and decorative coatings on wood and wood-based materials]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 5, pp. 102–111. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-5-102-111

References

- [1] Rybin B.M., Zavrazhnova I.A., Rybin D.B. *K voprosu standartizatsii metoda opredeleniya bleska prozrachnykh lakovykh pokrytyy na drevesine i drevesnykh materialakh* [Method standardization for determining gloss of transparent lacquered coatings on wood and wood materials]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, no. 2, pp. 57–67.
- [2] Landsberg G.S. *Obshchiy kurs fiziki. T. 3. Optika* [General course of physics. Vol. 3. Optics]. Moscow–Leningrad: State Publishing House of Technical and Theoretical Literature, 1941, 559 p.
- [3] Rabkin E.B. *Atlas tsvetov* [Atlas of flowers]. Moscow: State publishing house of medical literature Medgiz, 1956, 52 p.
- [4] Fadeyev G.N. *Khimiya i tsvet: kn. dlya vneklassnogo chteniya* [Chemistry and color: book for extracurricular reading]. Moscow: Prosveshcheniye, 1983, 160 p.
- [5] Koshkin N.I., Shirkevich M.G. *Spravochnik po elementarnoy fizike*. [Handbook of elementary physics]. Moscow: Science, 1972, 256 p.
- [6] Bronshteyn I.N., Semendiyayev K.A. *Spravochnik po matematike dlya inzhenerov i uchashchikhsya vtuzov* [Handbook of mathematics for engineers and students of higher educational institutions]. Moscow: Science, 1986, 544 p.
- [7] Vygodskiy M.YA. *Spravochnik po vyshey matematike* [Handbook of higher mathematics. Tenth edition, stereotypical]. Moscow: Science, 1973, 872 p.
- [8] Brill T. *Svet: vozdeystviye na proizvedeniya iskusstva* [Light: the impact on works of art. trans. from English.]. Moscow: Mir, 1983, 307 p.
- [9] *Mezhdunarodnyy svetotekhnicheskii slovar'* [International Lighting Dictionary]. Moscow: Russian language, 1979, 278 p.
- [10] Born M., Vul'f E. *Osnovy optiki* [Fundamentals of optics]. Moscow: Science, 1973, 719 p.
- [11] Anenko M.I., Arayev V.A., Afanas'yev V.A. *Opticheskiye pribory v mashinostroyeni. Spravochnik* [Optical devices in mechanical engineering. Directory]. Moscow: Mashinostroyeniye, 1974, 238 p.

- [12] Toporets A.S. *Fotometricheskiiy metod opredeleniya sredney vysoty mikronerovnostey sherokhovatoy poverkhnosti* [Photometric method for determining the average height of microroughness of a rough surface]. Moscow: Optical-mechanical industry, 1969, no. 6, pp. 60–64.
- [13] *Elementarnyy uchebnyk fiziki. T. 3. Kolebaniya, volny. Optika. Stroyeniye atoma* [Elementary textbook of physics. Vol. 3. Fluctuations, waves. Optics. The structure of the atom] Ed. G.S. Landsberg. Moscow: Science, 1975, 640 p.
- [14] Vygodskiy M.YA. *Spravochnik po elementarnoy matematike* [Handbook of elementary mathematics]. Moscow: Science, 1975, 416 p.
- [15] Mel'nikov YU.F. *Svetotekhnicheskiye materialy* [Lighting materials]. Moscow: Higher School Publishing House, 1976, 151 p.
- [16] Dolgopopolov V.I. *Svetotekhnicheskiye materialy* [Lighting materials]. Moscow: Energiya, 1972, 168 p.
- [17] Minnart M. *Svet i tsvet v prirod* [Light and color in nature]. Moscow: State publishing house of physical and mathematical literature, 1959, 424 p.
- [18] Sharonov V.V. *Svet i tsvet* [Light and color]. Moscow: State publishing house of physical and mathematical literature, 1961, 311 p.
- [19] Frilling G., Auer K. *Chelovek — tsvet — prostranstvo* [Man — Color — Space]. Moscow: Stroyizdat, 1973, 141 p.
- [20] Rybin B.M. *Issledovaniye vliyaniya svetloty podlozhki na pokazaniya pribora FB-2 pri otsenke bleska zerkal'nykh lakovykh pokrytiy* [Investigation of the influence of the lightness of the substrate on the readings of the FB-2 device when evaluating the gloss of mirror varnish coatings]. Nauch. tr. MLTI [MLTI Sci. Conf.], 1981, v. 140, pp. 39–42.
- [21] Pizhurin A.A. *Sovremennyye metody issledovaniya tekhnologicheskikh protsessov v derevoobrabotke* [Modern methods of research of technological processes in woodworking]. Moscow: Timber industry, 1972, 248 p.
- [22] Leont'yev N.A. *Tekhnika statisticheskikh vychisleniy* [Technique of statistical calculations]. Moscow: Timber industry, 1966, 250 p.
- [23] Rybin B.M. *Tekhnologiya i oborudovaniye zashchitno-dekorativnykh pokrytiy drevesiny i drevesnykh materialov* [Technology and equipment for protective and decorative coatings of wood and wood materials]. Moscow: MGUL, 2003, 568 p.
- [24] Rybin B.M. *Otsenka bleska prozrachnykh lakovykh pokrytiy* [Evaluation of the gloss of transparent lacquer coatings]. Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal), 1990, no. 6, pp. 53–58.
- [25] Zavrazhnova I.A. *Metod otsenki i razrabotka normativov bleska zashchitno-dekorativnykh pokrytiy na drevesine i drevesnykh materialakh* [Evaluation method and development of gloss standards for protective and decorative coatings on wood and wood-based materials]. Dis. Cand. Sci. (Tech.) 05.21.05. Moscow, 2016, 21 p.

Authors' information

Rybin Boris Matveevich  — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), rybin@mgul.ac.ru

Zavrazhnova Irina Anatolievna — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), zavrazhnova@mgul.ac.ru

Rybin Dmitry Borisovich — Technologist of Timberland LLC, wood@yandex.ru

Received 01.03.2022.

Approved after review 11.07.2022.

Accepted for publication 15.08.2022.

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

ИМПУЛЬСНАЯ СУШКА ЗАГОТОВОК ИЗ ДРЕВЕСИНЫ КРАСНОГО И ЧЕРНОГО ДЕРЕВА В КОНВЕКТИВНЫХ СУШИЛЬНЫХ КАМЕРАХ

С.А. Моисеев¹, Д.И. Деянов¹, А.А. Косарин^{2✉}, Г.Н. Курышов

¹МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1
²ООО «Форскад», 121359, г. Москва, ул. Партизанская, д. 40

Kosarin2008@yandex.ru

Приведен обзор литературных источников по физико-механическим свойствам красного и черного дерева. Дано описание характерных свойств древесины красного и черного дерева. Указаны места произрастания этих пород, разновидности их свойств в зависимости от ареала их распространения. Дан обзор литературных источников по режимным параметрам сушки заготовок из древесины красного и черного дерева. Приведены режимы сушки, которые зависят от текущей влажности древесины и отличаются друг от друга начальной и конечной температурой, а также степенью насыщенности агента сушки на начальном и конечном ее этапе. Рассмотрены принципы строения импульсных режимов сушки древесины. Представлены режимы импульсной сушки заготовок из красного дерева толщиной 50 мм и черного дерева толщиной 25 мм. Начальная влажность заготовок из красного и черного дерева определялась по ГОСТ 16588. Контроль за текущей влажностью осуществлялся методом контрольных образцов, а за развитием сушильных напряжений — по силовым образцам. Возникающие напряжения в процессе сушки заготовок оценивались по относительной деформации зубьев силовых секций, выпиливаемых из контрольных силовых образцов. Установлено, что применение импульсных режимов позволяет уменьшить потребление электроэнергии и повысить качество сушки.

Ключевые слова: заготовки, древесина красного дерева, древесина черного дерева, импульсная сушка, качество сушки, режимы сушки

Ссылка для цитирования: Моисеев С.А., Деянов Д.И., Косарин А.А., Курышов Г.Н. Импульсная сушка заготовок из древесины красного и черного дерева в конвективных сушильных камерах // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 5. С. 112–119. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-5-112-119

Красное дерево относится к роду (*Swietenia*) вечнозеленых деревьев, в котором насчитывается от 5 до 8 видов, произрастающих в центральной Южной Америки и на островах Карибского моря. Три близких вида, известных в странах Европы с середины XVII в. как красное дерево и обладающих красно-коричневым цветом древесины, получили общее название махагони.

Наиболее ценным по своим свойствам признан вид свитения махагони (*Swietenia mahagoni*) или махагониевое дерево. Высота этого дерева достигает 30...45 м, имеет диаметр ствола до 2 м у комля. Листья небольшие темного цвета, удлиненно заостренные. Цветы мелкие собраны в метелки. Плод по форме — коробочка. Распространен во влажных тропических лесах на увлажненных плодородных почвах, иногда в горах на высоте до 1200 м.

Махагониевое дерево стали вывозить во Францию, Великобританию, и другие страны Европы почти 400 лет тому назад, что превратило его в ценнейшую наиболее предпочитаемую для краснодеревных работ древесину.

За период с начала и до середины XX в. запасы махагониевой древесины на островах Карибского моря практически были истощены.

В 1946 г. правительства Кубы, Гаити и Доминиканской республики запретили экспорт круглых лесоматериалов и пиломатериалов этой породы. В 1960-х и 1970-х годах на Кубе и островах Карибского бассейна были заложены лесные плантации махагониевого дерева (около 3000 тыс. га). Кроме того, этот вид был интродуцирован англичанами на остров Шри-Ланка и в Индию.

Со временем место свитения махагони заняла другая родственная порода — свитения крупнолистная (*Swietenia macrophylla*) или каоба, получившая распространение в южной части Мексики и в атлантических зонах Центральной Америки, Колумбии, Боливии и Бразилии.

Дерево быстрорастущее, часто очень крупное, достигающее высоты до 45 м и диаметра до 2 м и более. В искусственных насаждениях растет очень быстро. При лучших почвенно-климатических условиях стволы этой породы формируются за 20 лет, а в средних условиях за 40 лет.

Менее известен третий вид *Swietenia humilis*, произрастающий на западе и юге Мексики в Сальвадоре, Никарагуа и Коста-Рике [1, 2].

В тропических лесах Африки, на Островах Зеленого Мыса и на Мадагаскаре произрастает африканский вид махагони, имеющий название Кайя (*Khaya*). Наиболее распространен вид *Khaya ivorensis* (африканское кайя, африканское

махагони, кайя-махагони, *Neaddon*). Африканское кайя произрастает в зоне сомкнутых и высокоствольных влажных лесов, не выше 800 м н. у. м. Ограниченный ареал имеет вид *Khaya anthotheca*. Встречается в глубине африканского континента. Известна под названием акация белая, кайя скручено-цветная, крала, муниама. Представляет собой крупные деревья высотой от 15...50 м, диаметром ствола от 60...130 см. К африканскому красному дереву также относятся сапеле, сипо, косипо. Эти породы распространены на территории Сьерра-Леоне, Анголы, Заира и Уганды. Это крупные деревья высотой до 45 м и диаметром ствола до 2 м.

В Юго-Восточной Азии красным деревом называют меранти (Филиппины), а в Австралии некоторые виды эвкалипта. Австралийским махагони называется вид *Eucalyptus marginata* (япра). Тем не менее по своим свойствам все эти породы отличаются от истинного красного дерева — американского махагони [1–5].

Эбеновое дерево — название группы растений рода *Diaspyros* из семейства эбеновых *Ebenaceae*. К роду *Diaspyros* относится около 180 вечнозеленых деревьев, растущих во влажных экваториальных тропических лесах Западной, Центральной и Восточной Африки, на островах Индийского океана в Юго-Восточной Азии, Индонезии, на Филиппинах в Индии, в пределах полуострова Индокитай и Шри-Ланке. Эти деревья и кустарники имеют попеременные или супротивные листья и сложные соцветия. Цветки двудомные, белые или бело-зеленые. Плод — мясистая ягода.

К семейству эбеновых *Ebenaceae* принадлежит и черное дерево, получившее свое название вследствие окраски ядра в черный цвет, высоких плотности и твердости и устойчивости к биологическим повреждениям. Под черным или эбеновым деревом в торговле понимают древесину различных экзотических пород черного цвета [6, 7]. В европейских и африканских странах черным деревом называют африканский вид дальбергии *Dalbergia melanoxylon*, в США и Великобритании — черный или африканский палисандр, сенегальский или африканский эбони, в Португалии африканский гренадил (*Grenadil African Blackwood*), черное дерево (*Pau Preto*), в Германии гренадил (*Grenadil*). Иногда под названием «черное дерево» подразумевают южноамериканские виды дальбергии — дальбергию черную (*Dalbergia nigra*), бразильский черный палисандр (*Gabiuna*), кокоболо, гренадил (*Socobola, Grenadillo*), произрастающие в Мексике и Гватемале, намбар (*Nambar*) — в Никарагуа и Коста-Рике.

К африканскому эбеновому дереву относится габоновое эбеновое дерево (*Gabon Eboni*), каме-

рунское, нигерийское эбеновое дерево или криби (*Cameroons, Nigerian ebony* или *Kribi*). Мадагаскарское и занзибарское эбеновое дерево произрастает на востоке Экваториальной Африки и на островах Индийского океана.

Из Индонезии, Филиппин, п-ова Индокитай и Папуа-Новой Гвинеи эбеновое дерево вывозится под названием макассар, филиппинское эбони или камагонг (*Kamagong*), новогвинейский эбони (*Newo Guinea eboni*) [1, 3, 6–8].

Цель работы

Цель работы — разработка технологии импульсной сушки для заготовок из красного и черного дерева в конвективных сушильных камерах.

Материалы и методы исследования

Свитения (махагони) — это ядровая рассеяно-сосудистая листовая порода с узкой белой заболонью. Заболонь шириной 25...50 мм, желтовато-белого цвета, имеет разно выраженную границу с ядром. Ядро — буровато- или коричнево-красное с окраской разной интенсивности. На поперечном разрезе древесина имеет темно-розоватую окраску, видны границы годичных слоев. Сердцевинные лучи тонкие, мало заметные, на тангенциальном разрезе расположены горизонтальными рядами. Сосуды круглые, собраны по два-три в небольшие радиальные группы. Строение древесины обычно путано-свилеватое, на радиальных разрезах с однородным красивым рисунком. Древесина кайи по строению идентична с древесиной махагони, часто наблюдается свилеватость. Ядро имеет окраску от бледно-розового до красно-коричневого цвета. Сапеле, сипо и косипо обладают более плотной и тяжелой древесиной. Светлая заболонь шириной до 10 см отличается от ядра. Сосуды мельче, чем у махагони. Волокна свилеватые, образуют равномерный полосатый рисунок на радиальном разрезе. Перечисленные виды древесины относятся к породам средней плотности. Махагони имеет плотность от 495...560 кг/м³, кайя — 560...580 кг/м³, сипо, сапеле, косипо — 625...660 кг/м³ (при влажности 12 %) [4, 9]. Стоимость красного дерева составляет от 260 тыс. руб. за 1 м³ [10].

Эбеновое дерево — ядровая рассеянно-сосудистая порода с узкой белой заболонью. Годичные слои практически незаметны, узкие сердцевинные лучи не видны ни на одном разрезе. Сосуды мелкие, собраны в радиальные группы по два-три, полости сосудов иногда заполнены ядровыми веществами черного цвета. Заболонь — узкая, белая, желтовато-белая, серая, бежевая, темнеющая под воздействием солнца и воздуха. Волокна ядра прямые, иногда искривленные или волнистые.

Древесина эбенового дерева очень плотная и тяжелая. Плотность древесины всех видов эбенового дерева находится в пределах от 900 до 1000 кг/м³ (при влажности 12 %). Самое плотное — цейлонское эбони — 1190 кг/м³. Макасар — 850...1050 кг/м³. Предел прочности на изгиб для основных африканских и индийских видов — от 180 до 190 МПа. Усушка эбенового дерева в радиальном направлении — 5,5 %, в тангенциальном — 6,5 %. Все виды эбенового дерева трудно обрабатываются резанием вследствие высокой плотности и наличия минеральных включений в древесине. Очень плохо пропитываются различными жидкостями, обладают низкой гигроскопичностью и высокой стабильностью в различных условиях (по температуре и влажности). Стоимость эбенового дерева составляет от 78 тыс. руб. за 1 м³ [9, 11].

Сушка заготовок из древесины красного и черного дерева проводилась в опытно-экспериментальной сушильной камере кафедры древесиноведения и технологии деревообработки МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал) с использованием режимов импульсной сушки, хорошо зарекомендовавших себя при сушке твердых лиственных пород древесины (дуба, ясеня, бука, груши) [12–13].

Режимами импульсной сушки, в отличие от традиционных, регулирование степени насыщенности агента сушки не предусмотрено. Тепловая энергия передается древесине импульсно с определенной последовательностью, при этом режим сушки состоит из двух циклически повторяющихся стадий «импульс» и «пауза». На стадии «импульс» осуществляется передача тепла материалу и удаление испаряемой из материала влаги. На стадии «пауза» тепловая энергия в сушильную камеру не подается, что приводит к снижению температуры поверхностных слоев древесины. Влага, испаряемая из древесины, остается в сушильной камере, повышая степень насыщенности сушильного агента и одновременно снимая внутренние напряжения в древесине, которые возникают в ней на стадии «импульс». Стадии «импульс» и «пауза» повторяются до тех пор, пока древесина не достигает конечной влажности. Технологией импульсной сушки не предусмотрено проведение промежуточных и конечной влаготеплообработки [14].

Опытно-промышленная сушильная камера относится к типу сушильных камер, в которых агент сушки проходит через штабель в поперечном направлении, а траектория его кольцевого движения внутри камеры находится в горизонтальной плоскости [15]. Сушильная камера разделена вертикальным экраном на сушильное пространство и пространство, где расположено технологическое оборудование.

В сушильном пространстве на тележке, установленной на рельсовом пути, размещается штабель, сформированный из высушиваемых заготовок древесины. На боковой стене сушильной камеры расположен психрометрический узел, состоящий из «сухого» и «смоченного» термометров, выполненных на базе термометров сопротивления типа ТСМ.

В технологическом пространстве, расположенном в торцевой части камеры, находится осевой вентилятор № 6 и блок трубчатых электронагревателей ТЭНов мощностью 6 кВт.

Для подачи свежего воздуха и удаления отработанного в верхней части камеры установлены приточно-вытяжные каналы с заслонками, которые управляются исполнительным механизмом.

Контроль и регулирование процесса импульсной сушки выполняется двухканальным измерителем-регулятором температуры ТРМ202 (компания «ОВЕН» г. Москва), имеющего интерфейс для связи с ПК. Используемая программа, разработанная компанией «ОВЕН», позволяет вести контроль параметров сушки в режиме on-line и архивировать полученные данные [16]. Продолжительность стадий «импульс» и «пауза» устанавливается с использованием таймера УТ-1 (компания «ОВЕН»).

Заготовки из древесины красного дерева, подлежащие сушке имели следующие параметры:

Толщина, мм.....	50
Ширина, мм.....	200
Длина, мм.....	1200...1500

Процесс импульсной сушки заготовки из красного дерева включал в себя следующие технологические операции:

- прогрев заготовок (6 ч);
- многоступенчатую сушку (12 ступеней);
- кондиционирование (7 ч).

Температура агента сушки на стадии «импульс» поддерживалась в диапазоне 40...65 °С. Продолжительность стадий «импульс» и «пауза» в процессе сушки составляла 1...4 ч. Всего было высушено 4 м³ заготовок до конечной влажности 7...8 % по I и II категориям качества сушки. Продолжительность сушки заготовок из древесины красного дерева составила 23 сут. [16].

Заготовки из древесины черного дерева, подлежащие сушке, имели следующие параметры:

Толщина, мм.....	25
Ширина, мм.....	120
Длина, мм.....	1500
Начальная влажность, %.....	20

Процесс импульсной сушки заготовок из черного дерева включал в себя следующие технологические операции:

- прогрев заготовок (10 ч);
- многоступенчатую сушку (13 ступеней);
- кондиционирование (12 ч).

Температура агента сушки на стадии «импульс» поддерживалась в диапазоне 38...65 °С. Продолжительность стадий «импульс» и «пауза» в процессе сушки составляла 1...4 ч. Всего было высушено две партии заготовок до конечной влажности 8 ± 1 % по I и II категориям качества сушки. Продолжительность сушки заготовок из древесины черного дерева составила 25 сут. [17].

Процесс камерной сушки древесины красного и черного дерева включал в себя технологические и контрольные операции. Технологические операции: начальный прогрев, многоступенчатая сушка, кондиционирование, охлаждение материала. Контрольные операции: определение значений начальной и текущей влажности, величины полных внутренних напряжений и остаточных деформаций, а также показателей качества высушенного материала [18].

Начальная влажность древесины определялась по секциям влажности весовым способом согласно ГОСТ 16588 [19]. Секции влажности выпиливались из образцов, отбираемых из заготовок, предназначенных для сушки. Текущая влажность находилась по контрольным образцам влажности, закладываемым в сушильный штабель. По величине текущей влажности образцов определяли время перехода с одной ступени на другую или окончание процесса сушки.

Для определения полных внутренних напряжений и деформаций в штабель закладывали контрольные силовые образцы. В процессе сушки из контрольных образцов выпиливали силовые секции. О знаке и величине полных внутренних напряжений судили по направлению и величине изгиба зубцов силовых секций.

Величина вычисляемого показателя относительной деформации зубцов силовой секции f , % свидетельствует о наличии остаточных напряжений в древесине.

Качество высушенного материала определяли по показателям средней конечной влажности заготовок в штабеле, отклонению влажности отдельных заготовок от средней влажности штабеля, среднему квадратичному отклонению влажности, перепаду влажности по толщине заготовок и условному показателю остаточных напряжений.

Таким образом, выполнение при каждой сушке древесины всех контрольных операций и определение качественных показателей высушиваемого материала обуславливают необходимость наличия в сушильном производстве специальной лаборатории.

В состав лаборатории должно входить следующее оборудование: сушильный шкаф, технические весы с пределом взвешивания до 500 г, торговые весы с пределом взвешивания до 25 кг, влагомеры электрические, настольная ленточная

пила с электродвигателем, психрометры, анемометры (термоанемометры), ртутные лабораторные термометры, фонари электрические (аккумуляторные), измерительные приборы (рулетки стальные, складные метры, циркули и т. д.), а также техническая литература по сушке древесины [20].

Результаты и обсуждение

Результаты исследований физико-механических свойств, а также макроскопическое и микроскопическое описание древесины красного и черного дерева приведены в работах [7, 8, 21].

В частности, в работе [22] приведено описание шестиступенчатого режима сушки заготовок из древесины красного дерева толщиной 50 мм (табл. 1).

Семиступенчатое изменение параметров агента сушки предусмотрено режимом [23] для древесины красного дерева *Khaya Senegalensis* (*Benin mahogany*, *African mahogany*, *Senegal mahogany*) (табл. 2).

Т а б л и ц а 1

Шестиступенчатый режим сушки заготовок из древесины красного дерева толщиной 50 мм [23]

Six-stage drying mode for redwood blanks 50 mm thick [23]

Влажность древесины, %	Температура агента сушки, °С	Температура по мокрому термометру, °С	Степень насыщенности, %
> 30	41	38	84
25	43	38	73
20	47	39	62
15	54	41	46
12	57	43	43
8	57	42	40

Т а б л и ц а 2

Семиступенчатый режим сушки заготовок из древесины красного дерева толщиной 50 мм [24]

Seven-stage mode for redwood blanks 50 mm thick [24]

Влажность древесины, %	Температура агента сушки, °С	Температура по мокрому термометру, °С	Степень насыщенности, %
> 50	37,5	35,5	83
50...40	37,5	34	77
40...30	37,5	32	68
30...25	43,5	32	46
25...20	49,0	32	32
20...15	54,5	32	22
<15	65,5	37,5	18

Таблица 3

Восьмиступенчатый режим сушки заготовок из древесины красного дерева толщиной 50 мм [25]

Eight-stage drying mode for mahogany blanks with a thickness of 50 mm [25]

Влажность древесины, %	Температура агента сушки, °С	Температура по мокрому термометру, °С	Степень насыщенности, %
> 50	43,5	40,5	84
50...40	43,5	39,5	78
40...35	43,5	37,0	68
35...30	43,5	32,5	48
30...25	49,0	32,0	32
25...20	54,5	32,0	22
20...15	60,0	32,0	15
< 15	71,0	43,5	21

Таблица 4

Семиступенчатый режим сушки заготовок из древесины черного дерева толщиной 25 мм [24]

Seven-stage drying mode for ebony blanks 25 mm thick [24]

Влажность древесины, %	Температура агента сушки, °С	Температура по мокрому термометру, °С	Степень насыщенности, %
> 40	43,5	41	87
40...35	43,5	40,5	84
35...30	43,5	39,0	76
30...25	49,0	41,0	62
25...20	54,5	37,5	35
20...15	60	32,0	15
< 15	71	43,5	21

Таблица 5

Восьмиступенчатый режим сушки заготовок из древесины черного дерева толщиной 25 мм [24]

Eight-stage drying mode for ebony blanks 25 mm thick [24]

Влажность древесины, %	Температура агента сушки, °С	Температура по мокрому термометру, °С	Степень насыщенности, %
> 50	49,0	46,5	88
50...40	49,0	46,0	85
40...35	49,0	44,5	77
35...30	49,0	41,0	62
30...25	54,5	37,5	35
25...20	60,0	32,0	15
20...15	65,5	37,5	18
< 15	82,0	54,5	26

Таблица 6

Режим импульсной сушки заготовок из древесины красного дерева толщиной 50 мм

Impulse drying mode for redwood blanks 50 mm thick

Продолжительность сушки, сут	Температура агента сушки, °С	Режим сушки, ч		Текущая влажность, %
		Стадия «импульс»	Стадия «пауза»	
1	40	1,0	4,0	37,0
2	40	1,0	4,0	35,4
5	42	2,0	4,0	33,2
9	46	2,0	3,5	30,6
12	48	2,0	3,5	28,1
14	50	2,0	3,0	26,3
16	52	2,0	3,0	23,9
18	54	2,0	2,5	21,6
20	56	2,0	2,5	18,3
21	59	2,0	2,0	15,1
22	63	2,0	2,0	11,3
23	65	2,0	2,0	7,2

Таблица 7

Режим импульсной сушки заготовок из древесины черного дерева толщиной 25 мм

Impulse drying mode for ebony wood blanks 25 mm thick

Продолжительность сушки, сут	Температура агента сушки, °С	Режим сушки, ч		Текущая влажность, %
		Стадия «импульс»	Стадия «пауза»	
1	38	1,0	4,0	20,0
2	38	1,0	4,0	19,1
4	38	1,0	4,0	18,8
6	38	1,0	3,5	16,2
7	42	1,5	3,5	15,0
9	47	1,5	3,5	14,3
12	50	1,5	3,5	13,1
16	53	2,0	3,5	12,4
18	58	2,0	3,5	11,8
20	61	2,0	3,5	10,6
23	65	2,0	3,5	9,1
24	65	2,0	3,0	8,2
25	65	2,0	3,0	7,7

Восьмиступенчатое изменение параметров агента сушки приведено в табл. 3 для древесины красного дерева *Swietenia mahagoni* (*West indies mahogany*, *Honduras mahogany*, *Caoba*) [24].

В табл. 4 приведен семиступенчатый режим сушки заготовок из древесины черного дерева толщиной 25 мм (*Ebony*, *East Indian*) [24].

В табл. 5 приведен восьмиступенчатый режим сушки заготовок из древесины черного дерева толщиной 25 мм [24].

В табл. 6 приведен режим импульсной сушки заготовок из древесины красного дерева толщиной 50 мм.

В табл. 7 приведен режим импульсной сушки заготовок из древесины черного дерева толщиной 25 мм.

Выводы

Проведенные сушки заготовок из древесины красного дерева толщиной 50 мм и заготовок из древесины черного дерева толщиной 25 мм в опытно-экспериментальной сушильной камере подтвердили возможность использования импульсных режимов для сушки этих пород древесины.

Список литературы

- [1] Древесные породы мира: в 3-х т. М.: Лесная пром-сть, 1982. Т. 2. 352 с.
- [2] Лесная энциклопедия: в 2-х т. / под ред. Г.И. Воробьева. М.: Советская энциклопедия, 1985. Т. 1. 563 с.
- [3] Лесная энциклопедия: в 2-х т. / под ред. Г.И. Воробьева. М.: Советская энциклопедия, 1986. Т. 2. 631 с.
- [4] Красное дерево. Махагони // Дерево.RU, 2003. № 6. С. 10–12.
- [5] Сабинина И. Красное — значит, прекрасное // Дерево. RU, 2008. № 6. С. 14–15.
- [6] Эбеновое дерево. Ебону. Род *Diospyros* // Дерево.RU, 2004. № 6. С. 16–21.
- [7] Ванин С.И. Древесиноведение. Ленинград: Гослестехиздат, 1940. 460 с.
- [8] Уголев Б.Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения. М.: МГУЛ, 2002. 340 с.
- [9] Боровиков А.М., Уголев Б.Н. Справочник по древесине. М.: Лесная пром-сть, 1989. 296 с.
- [10] WOODSTOCK. Эксперт по дереву. Пиломатериалы Орех // 2007–2021 WOODSTOCK. Материалы ценных пород. URL: <https://www.woodstock.su/prod/pilomaterialy/orekh/catalog.html> (дата обращения 24.04.2022).
- [11] WOODSTOCK. Эксперт по дереву. Доски Эбен Макасар 52 мм // 2007–2021 WOODSTOCK. Материалы ценных пород. URL: <https://www.woodstock.su/products/eben-makassar-52-mm/> (дата обращения 24.04.2022).
- [12] Косарин А.А. Технология импульсной сушки пиломатериалов: автореф. дис. ... канд. тех. наук, 2012. 22 с.
- [13] Деянов Д.И., Моисеев С.А., Курышов Г.Н., Косарин А.А. Импульсная сушка пиломатериалов из древесины груши в конвективных сушильных камерах // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 4. С. 107–111. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-4-107-111
- [14] Расев А.А., Курышов Г.Н., Ляшенко С.В., Чучков С.В. Способ сушки пиломатериалов. Пат. №2027127 РФ / Оpubл. 20.01. 1995 г.
- [15] Серговский П.С., Расев А.И. Гидротермическая обработка и консервирование древесины. М.: Лесная пром-сть, 1987. 360 с.
- [16] Курышов Г.Н., Косарин А.А. Импульсная сушка заготовок из древесины махагони и мербау // Научные труды МГУЛ, 2010. Вып. 349. С. 46–48.
- [17] Косарин А.А. Особенности сушки древесины эбенового дерева // Научные труды МГУЛ, 2005. Вып. 326. С. 22–25.
- [18] Расев А.И. Сушка древесины. СПб: Лань, 2010. 416 с.
- [19] Пилопродукция и деревянные детали. Методы определения влажности. ГОСТ 16588. М.: Издательство стандартов, 1990. 464 с.
- [20] Руководящие технические материалы по технологии камерной сушки пиломатериалов. Архангельск: Изд-во ОАО «Научдревпром–ЦНИИМОД», 2000. 125 с.
- [21] Перельгин Л.М. Древесиноведение М.: Лесная пром-сть, 1964. 284 с.
- [22] Селюгин Н.С. Сушка древесины. Ленинград: Гослестехиздат, 1940. 548 с.
- [23] Gunduz G., Aydemir D., Karakas G. The effects of thermal treatment on the mechanical properties of wild Pear (*Pyrus elaeagnifolia* Pall.) wood and changes in physical properties // Materials and Design, 2009, no. 30. pp. 4391–4395.
- [24] Boone R.S., Kozlik C.J., Bois P.J., Wengert E.M. Dry kiln schedules for commercial woods-temperate and tropical. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-57. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1988, 158 p.

Сведения об авторах

Деянов Дмитрий Игоревич — магистрант, МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), d.dejanov@yandex.ru

Моисеев Сергей Андреевич — магистрант, МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), rf-baf2@mail.ru

Косарин Анатолий Александрович [✉] — канд. техн. наук, доцент, заместитель директора ООО «Форсклад», Kosarin2008@yandex.ru

Курышов Григорий Николаевич — канд. техн. наук, доцент, kuryshov@mgul.ac.ru

Поступила в редакцию 05.05.2022.

Одобрено после рецензирования 11.07.2022.

Принята к публикации 15.08.2022.

REDWOOD AND EBONY BLANKS IMPULSE CONVECTIVE DRYING

S.A. Moiseev¹, D.I. Deyanov¹, A.A. Kosarin^{2✉}, G.N. Kuryshov

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

²OOO «Foreklad», 40, Partizanskaya st., 121359, Moscow, Russia

Kosarin2008@yandex.ru

A review of literature sources on the physical and mechanical properties of redwood and ebony is given. A description of the characteristic properties of redwood and ebony wood is given. The place of growth of these species, varieties of properties depending on the area of their distribution are indicated. A review of literature sources on regime parameters for drying redwood and ebony wood blanks is given. The drying modes are given, which depend on the current moisture content of the wood and differ from each other in the initial and final temperatures, as well as the degree of saturation of the drying agent at the initial and final stages of drying. The principles of the structure of pulse modes of wood drying are considered. The modes of pulsed drying of redwood 50 mm thick and ebony 25 mm thick blanks are presented. The initial moisture content of mahogany and ebony blanks was determined according to GOST 16588. The control over the current moisture content was carried out by the method of control samples. And the development of drying stresses is based on power samples. The stresses arising during the drying of the workpieces were evaluated by the relative deformation of the power sections teeth, sawn from the control power samples. The use of pulsed modes allows you to reduce energy consumption and improve the drying quality.

Keywords: redwood and ebony blanks, impulse drying, drying modes

Suggested citation: Moiseev S.A., Deyanov D.I., Kosarin A.A., Kuryshov G.N. *Impul'snaya sushka zagotovok iz drevesiny krasnogo i chernogo dereva v konvektivnykh sushil'nykh kamerakh* [Redwood and ebony blanks impulse convective drying]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 5, pp. 112–119.

DOI: 10.18698/2542-1468-2022-5-112-119

References

- [1] *Drevesnye porody mira* [Timber species of the world], in 3 t. T. 2. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Timber industry], 1982, 352 p.
- [2] *Lesnaya entsiklopediya* [Forest encyclopedia], in 2 vol. Ed. G.I. Vorobyov. Moscow: Sovetskaya entsiklopediya [Soviet encyclopedia], 1985, t. 1, 563 p.
- [3] *Lesnaya entsiklopediya* [Forest encyclopedia], in 2 vol. Ed. G.I. Vorobyov. Moscow: Sovetskaya entsiklopediya [Soviet encyclopedia], 1985, t. 2, 631 p.
- [4] *Krasnoe derevo. Makhagoni* [Mahogany. Mahogany]. Derevo.RU, 2003, no. 6, pp. 10–12.
- [5] Sabinina I. *Krasnoe — znachit, prekrasnoe* [Red means beautiful]. Derevo.RU, 2008, no. 6, pp. 14–15.
- [6] *Ebenovoe derevo. Ebony. Rod Diospyros* [Ebony. Ebony. The genus Diospyros]. Derevo.RU, 2004, no. 6, pp. 16–21.
- [7] Vanin S.I. *Drevesinovedenie* [Wood science]. Leningrad: Gosleshtekhizdat [State Forest Technical Publishing], 1940, 460 p.
- [8] Ugolev B.N. *Drevesinovedenie s osnovami lesnogo tovarovedeniya* [Wood science with the basics of forest commodity science]. Moscow: MSFU, 2002, 340 p.
- [9] Borovikov A.M., Ugolev B.N. *Spravochnik po drevesine* [Handbook of wood]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Timber industry], 1989, 296 p.
- [10] WOODSTOCK *Ekspert po derevu. Pilomaterialy Orekh* [Wood expert. Lumber Walnut]. Materials of valuable breeds 2007–2021. Available at: <https://www.woodstock.su/prod/pilomaterialy/orekh/catalog.html> (accessed 24.04.2022)
- [11] WOODSTOCK *Ekspert po derevu. Doski Eben Makassar 52 mm* [Wood expert. Boards Eben Makassar 52 mm]. Materials of valuable breeds 2007–2021. Available at: <https://www.woodstock.su/prod/pilomaterialy/orekh/catalog.html> (accessed 24.04.2022)
- [12] Kosarin A.A. *Tekhnologiya impul'snoy sushki pilomaterialov: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk* [Technology of pulsed drying of lumber: author. Dis. ... Cand. Sci. (Tech.)], 2012, 22 p.
- [13] Deyanov D.I., Moiseev S.A., Kuryshov G.N., Kosarin A.A. *Impul'snaya sushka pilomaterialov iz drevesiny grushi v konvektivnykh sushil'nykh kamerakh* [Convective hot-air chambers impulse drying of pear wood lumbers]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 4, pp. 107–111. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-4-107-111
- [14] Rasev A.A., Kuryshov G.N., Lyashenko S.V., Chuchkov S.V. *Sposob sushki pilomaterialov* [Method for drying lumber]. Pat. no. 2027127 RF / Publ. 20.01. 1995.
- [15] Sergovskiy P.S., Rasev A.I. *Gidrotermicheskaya obrabotka i konservirovanie drevesiny* [Hydrothermal treatment and preservation of wood]. Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1987, 360 p.
- [16] Kuryshov G.N., Kosarin A.A. *Impul'snaya sushka zagotovok iz drevesiny makhagoni i merbau* [Impulse drying of blanks from mahogany and merbau wood]. *Nauchnye trudy MGUL* [Scientific works of MSFU], 2010, iss. 349, pp. 46–48.
- [17] Kosarin A.A. *Osobennosti sushki drevesiny ebenovogo dereva* [Peculiarities of drying ebony wood] *Nauchnye trudy MGUL* [Scientific works of MSFU], 2005, iss. 326, pp. 22–25.
- [18] Rasev A.I. *Sushka drevesiny* [Drying wood]. St. Petersburg: Lan', 2010, 416 p.
- [19] GOST 16588 *Piloproduktsiya i derevyannye detali. Metody opredeleniya vlazhnosti* [Sawn products and wooden parts. Moisture determination methods]. Moscow: Izdatel'stvo standartov [Publishing house of standards], 1990, 464 p.
- [20] *Rukovodyashchie tekhnicheskie materialy po tekhnologii kamernoy sushki pilomaterialov* [Guiding technical materials on the technology of chamber drying of sawn timber]. Arkhangel'sk: Nauchdrevprom-TsNIIMOD, 2000, 125 p.
- [21] Perelygin L.M. *Drevesinovedenie* [Wood science]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Timber industry], 1964, 284 p.
- [22] Selyugin N.S. *Sushka drevesiny* [Drying wood]. Leningrad: Goslestekhizdat, 1940, 548 p.

- [23] Gunduz G., Aydemir D., Karakas G. The effects of thermal treatment on the mechanical properties of wild Pear (*Pyrus elaeagnifolia* Pall.) wood and changes in physical properties. *Materials and Design*, 2009, no. 30. pp. 4391–4395.
- [24] Boone R.S., Kozlik C.J., Bois P.J., Wengert E.M. Dry kiln schedules for commercial woods-temperate and tropical. General technical report FPL; GTR-57. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1988, 158 p.

Authors' information

Moiseev Sergey Andreevich — Master graduand of the BMSTU (Mytishchi branch), rf-baf2@mail.ru

Deyanov Dmitriy Igorevich — Master graduand of the BMSTU (Mytishchi branch),
d.dejanov@yandex.ru

Kosarin Anatoliy Aleksandrovich✉ — Cand. Sci. (Tech.), Deputy Director of the LTD «Forcklad»,
kosarin2008@yandex.ru

Kuryshov Grigoriy Nikolaevich — Cand. Sci. (Tech.), kuryshov@mgul.ac.ru

Received 05.05.2022.

Approved after review 11.07.2022.

Accepted for publication 15.08.2022.

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

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

The authors declare that there is no conflict of interest

ГИДРОЛИЗ КОМПОНЕНТОВ РАСТИТЕЛЬНОЙ БИОМАССЫ КАК УНИВЕРСАЛЬНЫЙ МЕХАНИЗМ ЭКОБЕЗОПАСНОСТИ ПРИРОДНЫХ И СИНТЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

А.Н. Иванкин^{1✉}, А.Н. Зарубина¹, А.Н. Веревкин¹, М.И. Бабурина²

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

²ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН», 109316, г. Москва, ул. Талалихина, д. 26

aivankin@mgul.ac.ru

Представлены материалы изучения кинетики гидролиза базовых составляющих природных материалов на примере таких модельных систем, как растительный белок соевого происхождения и растительный углевод крахмал. Приведены данные о потенциальной энзиматической биодеградации синтетического сополимера, применяемого для поверхностной обработки изделий из древесины — сополимера глицерина и фталевого ангидрида. Изложена методология возможной модификации синтеза таких сополимеров вследствие введения в их структуру флукуационных звеньев молочной кислоты, повышающих биоактивность полимерного материала. Выявлен эффект влияния звеньев молочной кислоты в составе синтетического терсополимера на скорость его биодеградации. Определены основные кинетические константы скоростей распада и энергии активации ферментативного гидролиза исследованных объектов в условиях, моделирующих возможную биодеградацию в окружающей среде. Значения констант максимальных скоростей панкреатического биораспада $V_{\max} \cdot 10^2$, составляли от 0,24 мг/мл·мин⁻¹ для синтезированного терсополимера глицерина, фталевого ангидрида и молочной кислоты до уровня 1,43...2,29 мг/мл·мин⁻¹ для белково-полисахаридных субстратов. Показано, что наибольшей скоростью биоразложения характеризуются вещества белковой природы, а синтетический сополимер глицерина и фталевого ангидрида в виде глифталевой смолы обладает значительной устойчивостью к биодеградации. Установлено, что модификация такого сополимера путем введения в его структуру звеньев молочной кислоты позволяет увеличивать способность к биологическому разложению. Подтверждена целесообразность модификации экосвойств синтетических полимеров путем введения в их структуру звеньев молочной кислоты, повышающих способность к биодеградации.

Ключевые слова: растительное сырье, биодеградация, белки, полисахариды, сополимер глицерина, фталевого ангидрида и молочной кислоты, экологическая безопасность

Ссылка для цитирования: Иванкин А.Н., Зарубина А.Н., Веревкин А.Н., Бабурина М.И. Гидролиз компонентов растительной биомассы как универсальный механизм экобезопасности природных и синтетических материалов // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 5. С. 120–127. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-5-120-127

Основными органическими компонентами природной биомассы являются белки, жиры (липиды), углеводы и ДНК. Эти компоненты в составе всех объектов природного происхождения представляют собой биополимеры, существующие в виде сложных биохимических макрокомплексов, которые формируют органы и ткани всех без исключения объектов растительного, животного и микробиологического происхождения [1, 2].

Главную функциональную роль в клетках биомассы растений выполняют белки, «сборка» которых из аминокислот осуществляется в соответствии с генетическим кодом на двухцепочечных молекулах ДНК [3]. Результатом этого постоянного процесса реализации жизненного цикла является молекулярная «сборка» пептидных цепочек, которые в виде белков различного строения и молекулярной массы существуют в органах и тканях живых организмов. Разнозвенность белков и их молекулярная масса

от 2 до более 4000 кДа фактически предопределяют биоразнообразие живой природы.

Количество белков в живых организмах разнится в зависимости от филогенетического вида и составляет, как правило, от 8 до 22 % массы объекта. Этот уровень изменяется в соответствии с влагосодержанием [4–6]. С прекращением существования организма белки деградируют под воздействием ферментов и условий окружающей среды, подвергаясь гидролитическому распаду, до свободных аминокислот и далее по механизму глубокого распада или гниения с образованием газообразных веществ, преимущественно аммиака, углекислого газа, воды и различных летучих соединений азота, водорода, фосфора, углерода и серы [7].

Параллельно с формированием белковых структур в клетках живых организмов происходит биосинтез углеводных компонентов, которые представляют собой биополимеры, состоящие из N-, C- и O-замещенных глюкозных фрагментов [8]. Такие полисахариды с высокой — более 100...2000 кДа, молекулярной массой в тканях

живых организмов образуют с белками высокомолекулярные макрокомплексы. Содержание углеводов, или полисахаридов, в природных материалах может существенно различаться, составляя от 2...18 %, например в животной ткани, до 20...65 % в продуктах растительного происхождения [9–10].

В процессе деградации полисахаридов под воздействием ферментов и условий окружающей среды также, аналогично базовым составляющим живых организмов, белкам, происходит процесс распада, сперва, на мономолекулярные фрагменты — аналоги глюкозы, с последующим распадом на газообразные вещества [11–12].

Экологическое значение данных природных процессов заключается в роли скорости деградации веществ в окружающей среде. Вопрос быстрого исчезновения таких объектов в природных условиях можно рассматривать как понятие экологической безопасности.

Конец XX в. и начало XXI в. можно рассматривать как исторический период интенсивного создания искусственных материалов для нужд человека. Значительное место в этом направлении заняли полимерные материалы. Синтетические полимеры, пластмассы и композиты на их основе ранее в природе не существовали. По физико-механическим и химическим свойствам новые пластики оказались пригодными для широкого использования практически во всех областях материаловедения. Масштабные научно-технические разработки все это время были направлены на создание долговечных материалов с нужным комплексом свойств. Однако крупнотоннажное производство полимеров привело к ситуации, когда огромное их количество необходимо утилизировать, поскольку они сравнительно быстро теряют потребительские свойства и скапливаются в качестве отходов, загрязняя почву и Мировой океан, не подвергаясь заметному гидролитическому распаду [13–15].

Исследования показывают, что на базе «умных» полимерных материалов можно создавать химические полимерные структуры с лабильными звеньями, которые могут выступать в виде флуктуационных точек для повышения скорости распада под воздействием ферментов или закисляющих реагентов. Вводимые в структуру полимера звенья не должны ухудшать физико-механические свойства пластика, но быть достаточно «съедобными» для микрофлоры. Возможным путем такого конструирования полимерных материалов является введение в их структуру, например, звеньев молочной кислоты, которая представляет собой материал пищевого назначения и содержится в живых организмах, участвуя в циклах Кребса [16–18].

Введение в структуру синтетического полимера таких биомаркерных звеньев позволяет рассматривать его как реальный аналог природного материала сравнительно легко подвергающегося биораспаду, т. е. обладающего экологической безопасностью.

Изучение механизма биodeградации искусственных материалов является важным и актуальным направлением «зеленой химии».

Цель работы

Цель работы — сопоставление кинетики механизмов гидролиза природных белково-полисахаридных субстанций растительного происхождения и искусственно созданных синтетических полимерных аналогов с биомаркерными звеньями.

Материалы и методы

В качестве объектов исследования использовали природные модельные системы: белковую — растительный (соевый) белок по ГОСТ 31388–2009, полисахаридную — крахмал картофельный по ГОСТ Р 53876–2010 и синтетическую полимерную — сополимер (СПЛ) глицерина, фталевого ангидрида и молочной кислоты (соотношение звеньев 2:3:0,5). Для сравнения использовали также СПЛ глицерина и фталевого ангидрида, полученный методом сополиконденсации с соотношением звеньев 2:3 соответственно.

В качестве ферментного препарата, который может обеспечивать биodeградацию, использовали достаточно распространенную в живой природе ферментную систему — водную суспензию измельченной поджелудочной железы свиней (СПЖ). Ферментный комплекс СПЖ активировали инкубированием при 45 °С в течение 2 ч, после чего протеолитическая активность препарата составляла 9000 ПЕ/г [19, 20].

В экспериментах по определению кинетических параметров гидролиза процесс проводили при фермент-субстратном соотношении 1:15 (по белку) с гидромодулем 1:10 при температуре 30...45 °С в течение 7 ч. Отбор пробы в начале процесса осуществляли через 15, 30, 45, 60 мин, а далее через каждый час для определения продуктов распада, в случае белка — содержания азота концевых аминокрупп формольным титрованием [21].

Аминокислотный состав гидролизатов анализировали также на аминокислотном анализаторе LC 3000 фирмы Eppendorf-Biotronic (ФРГ) с использованием автоматической программы Winpeak [21].

Модельный гидролиз полисахарида крахмала осуществляли в условиях аналогично ферментализу соевого белка. Контроль за образованием продуктов распада — свободных моносахаров осуществляли с использованием хроматографи-

ческой системы BioLC с колонкой CarboPac PA20 производства DIONEX (Германия) по условиям работы [22].

Кинетику процесса биодegradации СПЛ осуществляли в условия, аналогичных гидролизу модельной белковой системы. Контроль за распадом СПЛ осуществляли методом кислотно-основного титрования по значению кислотного числа (КЧ).

Расчет энергии активации и кинетических констант выполняли по методологии, описанной в работе [22].

Физико-химические характеристики сырья и материалов определяли по стандартным методикам, изложенным в ГОСТах на соответствующий вид измерений.

Статистическую обработку результатов эксперимента проводили стандартными методами.

Результаты и обсуждение

Для установления кинетических особенностей ферментативного гидролиза белка была определена зависимость накопления азота аминокрупп от времени при возможных температурах работы природной ферментной системы при 30...45 °С. Контроль процесса осуществляли по высвобождению свободных аминокислот из белка формальным титрованием и определением концентрации аминокислот на аминокислотном анализаторе. Линеаризация кинетических кривых гидролиза по способу, описанному в работе [23], позволила рассчитать максимальные скорости V_{\max} реакции гидролиза субстрата для быстрой стадии реакции гидролиза, а также формальные константы Михаэлиса K_M , которые характеризуют сродство фермента к конкретному субстрату. Энергия активации E_a процесса была вычислена по уравнению Аррениуса [23].

Для описания кинетических закономерностей протекания ферментативного гидролиза была использована модель, предусматривающая наличие «быстрой» и «медленной» стадий процесса. Согласно этой модели [22, 23], реакцию систему следует рассматривать как сумму независимо реагирующих субстратов, скорость распада каждого из которых определяется его концентрацией и кинетическими характеристиками. Предполагается, что в момент времени t скорость гидролиза V_t химических связей, обладающих близкой реакционной способностью, можно определить по уравнению

$$V_t = V_{\max} e^{-kt},$$

где V_{\max} — максимальная скорость биодegradации, г·л⁻¹·с⁻¹;

k — константа эффективности протекания процесса гидролиза химических связей, с⁻¹.

Логарифмирование этой зависимости с учетом того, что скорость гидролиза V_t выражается отношением текущей концентрации расщепленных химических связей к моменту времени t , дает зависимость $\ln V_t = \ln(P/t) = \ln V_{\max} - kt$, где P — концентрация расщепленных связей к моменту времени t , г/л. Размерность этой величины в случае дegradации белка выражается в граммах азота аминокрупп высвобожденных аминокислот в 1 л реакционной смеси. При $t \rightarrow 0$, $(P/t) \rightarrow V_0$, т. е. накопление продуктов гидролитического распада протекает по псевдопервому порядку реакции и V_0 соответствует V_{\max} . Построение графика в координатах $\ln(P/t) = f(t)$ дает возможность методом нулевой экстраполяции на ось ординат определять V_{\max} .

В зависимости от характера субстрата график может представлять ломаную линию из нескольких прямолинейных участков. В настоящей работе для сопоставления кинетики биодegradации белкового, полисахаридного и синтетического полимерного субстратов использовали начальные участки кинетического процесса.

Рассчитанные кинетические характеристики для соевого белка представлены в табл. 1, где также приведены наблюдаемые значения концентраций свободных аминокислот в результате ферментативного расщепления белка, которые наглядно характеризуют фактическую эффективность процесса биораспада.

Из табл. 1 видно, что наиболее высокая степень конверсии белка была достигнута при температуре 40 °С. Эффективное время быстрого этапа гидролиза составляло более 2 ч. Повышение температуры выше 40 °С приводило к некоторому снижению выхода свободного азота аминокрупп, что, скорее всего, связано с температурной инактивацией ферментного комплекса. Такой эффект полностью соответствует поведению ферментных систем в живой природе, когда высокие температуры, например в регионах с жарким климатом, процессы гидролитического распада не ускоряют, а органические ткани проявляют способность мумифицироваться.

Следует отметить, что использованная кинетическая модель процесса ферментализации позволяет удовлетворительно описать закономерности распада белковых составляющих под воздействием ферментов в природе.

В табл. 2 представлены кинетические характеристики ферментализации полисахарида крахмала в присутствии панкреатического фермента, установленные в условиях, аналогичных кинетике распада белкового субстрата, а также количество свободных производных глюкозы, которые образуются в результате биораспада углеводного субстрата.

Т а б л и ц а 1

**Кинетические характеристики гидролиза модельного соевого белка
ферментным комплексом поджелудочной железы ($n = 5$)**
Hydrolysis kinetic characteristics of model soy protein by pancreatic enzyme complex ($n = 5$)

Кинетическая характеристика	Температура, °С («быстрая» стадия)			
	30	35	40	45
$V_{\max} \cdot 10^2$, мгNH ₂ /мл·мин ⁻¹	1,44 ± 0,10	1,59 ± 0,17	2,36 ± 0,18	2,29 ± 0,12
$K_M \cdot 10^2$, мгNH ₂ /мл	1,26 ± 0,11	1,33 ± 0,10	1,41 ± 0,12	1,39 ± 0,11
Свободные аминокислоты, % к массе белка	1,8	3,6	5,1	6,2
E_a , кДж/моль	27,64 ± 0,72			
<i>Примечание.</i> V_{\max} — максимальная скорость биодеградации белка; K_M — константа Михаэлиса; E_a — энергия активации.				

Т а б л и ц а 2

**Кинетические характеристики панкреатического гидролиза
растительного субстрата крахмала ($n = 3$)**
Pancreatic hydrolysis kinetic characteristics of vegetable starch substrate ($n = 3$)

Кинетическая характеристика	Температура, °С («быстрая» стадия)			
	30	35	40	45
$V_{\max} \cdot 10^2$, мг/мл·мин ⁻¹	1,11 ± 0,10	1,18 ± 0,12	1,39 ± 0,14	1,43 ± 0,12
$K_M \cdot 10^2$, мг/мл	0,87 ± 0,08	1,03 ± 0,10	1,22 ± 0,13	1,24 ± 0,09
Свободная глюкоза, % к массе субстрата	0,5	1,3	1,45	2,7
E_a , кДж/моль	28,3 ± 0,8			

Т а б л и ц а 3

**Кинетика биодеградации терсополимера глицерина, фталевого ангидрида
и молочной кислоты под воздействием панкреатической ферментной системы ($n = 3$)**

**Biodegradation kinetics of the ter-copolymer of glycerol, phthalic anhydride
and lactic acid under the influence of the pancreatic enzyme system ($n = 3$)**

Кинетическая характеристика	Температура, °С («быстрая» стадия)			
	30	35	40	45
$V_{\max} \cdot 10^2$, мг/мл·мин ⁻¹	0,42 ± 0,12	0,39 ± 0,15	0,57 ± 0,14	0,88 ± 0,24
$K_M \cdot 10^2$, мг/мл	0,24 ± 0,08	0,26 ± 0,11	0,39 ± 0,13	0,57 ± 0,17
КЧ, мгКОН/г	80	113	156	190
E_a , кДж/моль	34,2 ± 2,5			

Панкреатический ферментный комплекс СПЖ — достаточно активная полиферментная система, обладающая гидролазной, протеазной, липазной, амилазной и другими видами специфической биохимической активности, что послужило основанием ее использования. Кроме того, эта универсальная ферментная система способна расщеплять широкий спектр субстратов, которые поступают с пищей в пищеварительной системе млекопитающих.

Из табл. 2 видно, что ферментный комплекс СПЖ оказался активен по отношению к крахмальному субстрату, однако значения скоростей ферментативного расщепления данного модельного углевода оказались меньше, чем аналогичные значения для белкового субстрата. Энергия активации гидролитического распада углевода оказалась немного выше, чем E_a для белка.

Сопоставление ферментализации белка и полисахарида показало, что использованный панкреатический ферментный препарат обладает достаточно высокой активностью по отношению к белково-полисахаридным субстратам, поэтому было принято решение оценить действие ферментного комплекса СПЖ на синтетический СПЛ.

Синтетический СПЛ глицерина и фталевого ангидрида имеет в структуре соответствующие звенья: $-(OOC-C_6H_4-COO)_x-(CH_2-CH(OH)-CH_2)_y-$, которые, по-видимому, практически не способны к воздействию со стороны природных протеаз или гидралаз. Введение в состав СПЛ молочной кислоты видоизменяет его химическую структуру, в которой появляются флукуационные звенья и она может иметь вид $-(OOC-C_6H_4-COO)_x-(CH(CH_3)-COO)_z-(CH_2-CH(OH)-CH_2)_y-$. Такая усложненная химическая структура СПЛ способна

к воздействию на нее ферментного комплекса СПЖ. Активность комплекса СПЖ по отношению к полученному синтетическому субстрату была меньше, чем активность по отношению к белково-полисахаридным субстратам, но тем не менее она все-таки проявлялась.

Значения констант скорости ферментативного расщепления терсополимера, приведенные в табл. 3, показывают, что такой синтетический субстрат может расщепляться природными ферментами со значимыми скоростями процесса биохимического разложения.

Использование в качестве модельного субстрата двойного СПЛ — фталевого ангидрида и глицерина — показало низкую скорость его деградационного ферментализа. Оценить их значение не представилось возможным, что указывает на целесообразность формирования биоактивных звеньев молочной кислоты в составе синтетического СПЛ.

Таким образом, сопоставление кинетических механизмов распада синтетического полимера на основе глицерина и фталевого ангидрида с включенными звеньями молочной кислоты в модельных условиях показали, что введение в состав СПЛ флуктуационных звеньев, способствует возможности ферментативного распада данного СПЛ со скоростью, сопоставимой со скоростью распада природных материалов, в качестве которых использовали соевый белок и крахмал. В аналогичных условиях ферментативный распад СПЛ фталевого ангидрида и глицерина, основы традиционно используемых глифталевых смол, не проявлял заметной реакционной способности под воздействием достаточно активной панкреатической ферментной системы.

Данные результаты позволяют прогнозировать благоприятную возможность ускоренного разложения аналогичных синтетических полимеров с активными звеньями молочной кислоты в случае их попадания в виде отходов в окружающую среду.

Выводы


Полимерный материал на основе СПЛ глицерина, фталевого ангидрида и молочной кислоты можно рассматривать как относительно безопасный с точки зрения возможности быстрой деградации в окружающей среде. Представленный материал целесообразно рассматривать как подход к разработке эффективной методологии получения экологически безопасных биопластиков.

Список литературы

- [1] Turnbull D., Hemsley P.A. Fats and function: protein lipid modifications in plant cell signaling // *Current Opinion in Plant Biology*, 2017, v. 40, no. 12, pp. 63–70. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2017.07.007>
- [2] Qin P., Wang T., Luo Y. A review on plant-based proteins from soybean // *J. of Agriculture and Food Research*, 2022, v. 7, no. 3, p. 100265. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100265>
- [3] Stephanopoulos N. Hybrid nanostructures from the self-assembly of proteins and DNA // *Chemistry*, 2020, v. 6, no. 2, pp. 364–405. <https://doi.org/10.1016/j.chempr.2020.01.012>
- [4] Lowder M.A., Appelbaum J.S., Hobert E.M., Schepartz A. Visualizing protein partnerships in living cells and organisms // *Current Opinion in Chemical Biology*, 2011, v. 15, no. 6, pp. 781–788. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2011.10.024>
- [5] Hansen L.D., Tolley H.D., Woodfield B.F. Transformation of matter in living organisms during growth and evolution // *Biophysical Chemistry*, 2021, v. 271, no. 4, p. 106550. <https://doi.org/10.1016/j.bpc.2021.106550>
- [6] Jain M., Amera G.M., Muthukumaran J., Singh A.K. Insights into biological role of plant defense proteins: A review // *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 2022, v. 40, no. 3, p. 102293. <https://doi.org/10.1016/j.cbab.2022.102293>
- [7] Suryadi H., Judono J.J., Putri M.R., Ecclesia A.D., Ulhaq J.M., Agustina D.N., TriyaniSumiati T. Biodelignification of lignocellulose using ligninolytic enzymes from white-rot fungi // *Heliyon*, 2022, v. 8, no. 2, e08865. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e08865>
- [8] Ralton J.E., Sernee M.F., McConville M.J. Evolution and function of carbohydrate reserve biosynthesis in parasitic protists // *Trends in Parasitology*, 2021, v. 37, no. 11, pp. 988–1001. <https://doi.org/10.1016/j.pt.2021.06.005>
- [9] Nkansah M.A., Agyei A.E., Opoku F. Mineral and proximate composition of the meat and shell of three snail species // *Heliyon*, 2021, v. 7, no.10, e08149. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08149>
- [10] Pressman E., Schaffer F.A., Compton D., Zamski E. Carbohydrate content of young asparagus plants as affected by temperature regimes // *J. of Plant Physiology*, 1994, v. 143, no. 6, pp. 621–624. [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(11\)81148-X](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(11)81148-X)
- [11] Scanes C.G. Carbohydrate metabolism // *Sturkie's Avian Physiology (Seventh Edition)*. NY: Academic Press, 2022, pp. 613–645. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819770-7.00005-0>
- [12] Paine J.B., Pithawalla Y.B., Nawora J.D. Carbohydrate pyrolysis mechanisms from isotopic labeling. The pyrolysis of D-glucose: The origin of the light gases from the D-glucose molecule // *J. of Analytical and Applied Pyrolysis*, 2019, v. 138, no. 3, pp. 70–93. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2018.12.010>
- [13] Sridharanab S., Kumarb M., Sahaac M., Kirkhamd M.B., Singhab L., Bolane N.S. The polymers and their additives in particulate plastics: What makes them hazardous to the fauna? // *Science of the Total Environment*, 2022, v. 824, no. 6, p. 153828. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153828>
- [14] Yang H., Dong H., Huang Y., Chena G., Wang J. Interactions of microplastics and main pollutants and environmental behavior in soils // *Science of the Total Environment*, 2022, v. 821, no. 5, p. 153511. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153511>
- [15] Nagar S., Antony R., Thamban M. Extracellular polymeric substances in Antarctic environments: A review of their ecological roles and impact on glacier biogeochemical cycles // *Polar Science*, 2021, v. 30, no. 12, p. 100686. <https://doi.org/10.1016/j.polar.2021.100686>
- [16] Chena C., Yuen D., Nga W., Weil T. Polymer bioconjugates: Modern design concepts toward precision hybrid materials // *Progress in Polymer Science*, 2020, v. 105, no. 101241. DOI: 10.1016/j.progpolymsci.2020.101241

- [17] Fan Y.V., Jiang P., Tan R.R., Aviso K.B. Forecasting plastic waste generation and interventions for environmental hazard mitigation // *J. of Hazardous Materials*, 2022, v. 424, no. 2 A, p. 127330.
DOI: doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127330
- [18] Lia R., Zhang B., Wang Y., Zhao Y., Li F. Leaching potential of stabilized fly ash from the incineration of municipal solid waste with a new polymer // *J. of Environmental Management*, 2019, v. 232, no. 2, pp. 286–294.
DOI: doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.11.036
- [19] Neklyudov A.D., Ivankin A.N., Baburina M.I. Production and properties of pancreatin immobilized on carboxymethylcellulose // *Applied Biochemistry and Microbiology*, 1998, v. 34, no. 1, pp. 57–62.
- [20] Иванкин А.Н., Неклюдов А.Д., Прошина О.П. Особенности коллагена в мясном сырье // *Мясная индустрия*, 2009. № 1. С. 59–63.
- [21] Иванкин А.Н., Олиференко Г.Л., Куликовский А.В. Аналитическая химия. М.: Кнорус, 2021. 300 с.
- [22] Олиференко Г.Л., Иванкин А.Н., Жилин Ю.Н., Прошина О.П., Зарубина А.Н., Вострикова Н.Л., Куликовский А.В., Бабурина М.И. Кинетика кислотной трансформации природных полисахаридов древесной биомассы в моносахара для получения кормовых добавок и микробиологических сред // *Лесной вестник / Forestry Bulletin*, 2017. Т. 21. № 6. С. 61–67.
DOI: 10.18698/2542-1468-2017-6-61-67
- [23] Neklyudov A.D., Berdutina A.V., Ivankin A.N., Karpo B.S., Osoka A.V. Determination of the kinetic constants of hydrolysis of keratin-containing raw materials // *Applied Biochemistry and Microbiology*, 1999, v. 35, no. 1, pp. 45–49.

Сведения об авторах

Иванкин Андрей Николаевич  — д-р хим. наук, профессор кафедры химии и химических технологий лесного комплекса МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), aivankin@mgul.ac.ru

Зарубина Анжелла Николаевна — канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой химии и химических технологий лесного комплекса МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), zarubina@mgul.ac.ru

Веревкин Алексей Николаевич — канд. хим. наук, доцент кафедры химии и химических технологий лесного комплекса МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), verevkin@mgul.ac.ru

Бабурина Марина Ивановна — канд. биол. наук, доцент, вед. науч. сотр. отдела научно-прикладных и технологических разработок ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН», baburina2005@yandex.ru

Поступила в редакцию 15.03.2022.

Одобрено после рецензирования 11.07.2022.

Принята к публикации 15.08.2022.

PLANT BIOMASS COMPONENTS HYDROLYSIS AS UNIVERSAL MECHANISM FOR ECO SAFETY OF NATURAL AND SYNTHETIC MATERIALS

A.N. Ivankin¹✉, A.N. Zarubina¹, A.N. Verevkin¹, M.I. Baburina²

¹BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institut'skaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

²V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences, 26, Talalikhina st., 109316, Moscow, Russia

aivankin@mgul.ac.ru

Hydrolysis of protein-polysaccharide components of plant materials under basic environmental conditions is the main mechanism of biochemical degradation of biomass in nature. Most modern synthetic polymeric materials do not have the ability to rapidly degrade in the environment after the end of their useful life. The aim of the work was to compare the kinetics of hydrolysis of protein-polysaccharide substances of plant origin and artificially created synthetic polymeric materials with biomarker units. The article studies the kinetics of hydrolysis of the basic constituents of natural materials on the example of model systems — vegetable protein of soy origin and vegetable carbohydrate — starch in comparison with the possible enzymatic biodegradation of a synthetic copolymer used for surface treatment of wood products — a copolymer of glycerol and phthalic anhydride. A methodology for the possible modification of the synthesis of such copolymers by introducing lactic acid fluctuation units into their structure, which increase the bioactivity of the polymer material, is described. The effect of lactic acid units in the composition of synthetic tercopolymer on the rate of its biodegradation has been revealed. The main kinetic constants of the decay rates and activation energies of the enzymatic hydrolysis of the studied objects were determined under conditions simulating their possible biodegradation in the environment. The values of the constants of the maximum rates of pancreatic biodegradation $V_{\max} \cdot 10^2$, ranged from 0,24 mg/ml·min⁻¹ for the synthesized tercopolymer of glycerol, phthalic anhydride and lactic acid compared with similar values at the level of 1,43...2,29 mg /ml·min⁻¹ for protein-polysaccharide substrates. It is shown that substances of a protein nature have the highest rate of biodegradation, and a synthetic copolymer of glycerol and phthalic anhydride in the form of glyphthalic resin has a significant resistance to biodegradation. Modification of such a copolymer by introducing lactic acid units into its structure makes it possible to increase its biodegradability. The expediency of modifying the eco-properties of synthetic polymers by introducing lactic acid units into their structure, which increase the biodegradability, has been confirmed.

Keywords: vegetable raw materials, biodegradation, proteins, polysaccharides, copolymer of glycerol, phthalic anhydride and lactic acid, environmental safety

Suggested citation: Ivankin A.N., Zarubina A.N., Verevkin A.N., Baburina M.I. *Gidroliz komponentov rastitel'noy biomassy kak universal'nyy mekhanizm ekobezopasnosti prirodnykh i sinteticheskikh materialov* [Plant biomass components hydrolysis as universal mechanism for eco safety of natural and synthetic materials]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 5, pp. 120–127. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-5-120-127

References

- [1] Turnbull D., Hemsley P.A. Fats and function: protein lipid modifications in plant cell signaling. *Current Opinion in Plant Biology*, 2017, v. 40, no. 12, pp. 63–70. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2017.07.007>
- [2] Qin P., Wang T., Luo Y. A review on plant-based proteins from soybean. *J. of Agriculture and Food Research*, 2022, v. 7, no. 3, p. 100265. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100265>
- [3] Stephanopoulos N. Hybrid nanostructures from the self-assembly of proteins and DNA. *Chem.*, 2020, v. 6, no. 2, pp. 364–405. <https://doi.org/10.1016/j.chempr.2020.01.012>
- [4] Lowder M.A., Appelbaum J.S., Hobert E.M., Schepartz A. Visualizing protein partnerships in living cells and organisms. *Current Opinion in Chemical Biology*, 2011, v. 15, no. 6, pp. 781–788. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2011.10.024>
- [5] Hansen L.D., Tolley H.D., Woodfield B.F. Transformation of matter in living organisms during growth and evolution. *Biophysical Chemistry*, 2021, v. 271, no. 4, p. 106550. <https://doi.org/10.1016/j.bpc.2021.106550>
- [6] Jain M., Amera G.M., Muthukumaran J., Singh A.K. Insights into biological role of plant defense proteins: A review. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 2022, v. 40, no. 3, p. 102293. <https://doi.org/10.1016/j.cbab.2022.102293>
- [7] Suryadi H., Judono J.J., Putri M.R., Ecclesia A.D., Ulhaq J.M., Agustina D.N., TriyaniSumiati T. Biodelignification of ligno-cellulose using ligninolytic enzymes from white-rot fungi. *Heliyon*, 2022, v. 8, no. 2, e08865. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e08865>
- [8] Ralton J.E., Sernee M.F., McConville M.J. Evolution and function of carbohydrate reserve biosynthesis in parasitic protists. *Trends in Parasitology*, 2021, v. 37, no. 11, pp. 988–1001. <https://doi.org/10.1016/j.pt.2021.06.005>
- [9] Nkansah M.A., Agyei A.E., Opoku F. Mineral and proximate composition of the meat and shell of three snail species. *Heliyon*, 2021, v. 7, no.10, e08149. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08149>
- [10] Pressman E., Schaffer F.A., Compton D., Zamski E. Carbohydrate content of young asparagus plants as affected by temperature regimes. *J. of Plant Physiology*, 1994, v. 143, no. 6, pp. 621–624. [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(11\)81148-X](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(11)81148-X)
- [11] Scanes C.G. Carbohydrate metabolism. *Sturkie's Avian Physiology (Seventh Edition)*. NY: Academic Press, 2022, pp. 613–645. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819770-7.00005-0>
- [12] Paine J.B., Pithawalla Y.B., Nawora J.D. Carbohydrate pyrolysis mechanisms from isotopic labeling. The pyrolysis of D-glucose: The origin of the light gases from the D-glucose molecule. *J. of Analytical and Applied Pyrolysis*, 2019, v. 138, no. 3, pp. 70–93. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2018.12.010>

- [13] Sridharanab S., Kumarb M., Sahaac M., Kirkhamd M.B., Singhab L., Bolane N.S. The polymers and their additives in particulate plastics: What makes them hazardous to the fauna? *Science of the Total Environment*, 2022, v. 824, no. 6, p. 153828. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153828>
- [14] Yang H., Dong H., Huang Y., Chena G., Wang J. Interactions of microplastics and main pollutants and environmental behavior in soils. *Science of the Total Environment*, 2022, v. 821, no.5, p. 153511. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153511>
- [15] Nagar S., Antony R., Thamban M. Extracellular polymeric substances in Antarctic environments: A review of their ecological roles and impact on glacier biogeochemical cycles. *Polar Science*, 2021, v. 30, no. 12, p. 100686. <https://doi.org/10.1016/j.polar.2021.100686>
- [16] Chena C., Yuen D., Nga W., Weil T. Polymer bioconjugates: Modern design concepts toward precision hybrid materials. *Progress in Polymer Science*, 2020, v. 105, no. 101241. DOI: 10.1016/j.progpolymsci.2020.101241
- [17] Fan Y.V., Jiang P., Tan R.R., Aviso K.B. Forecasting plastic waste generation and interventions for environmental hazard mitigation. *J. of Hazardous Materials*, 2022, v. 424, no. 2 A, p. 127330. DOI: doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127330
- [18] Lia R., Zhang B., Wang Y., Zhao Y., Li F. Leaching potential of stabilized fly ash from the incineration of municipal solid waste with a new polymer. *J. of Environmental Management*, 2019, v. 232, no. 2, pp. 286–294. DOI: doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.11.036
- [19] Neklyudov A.D., Ivankin A.N., Baburina M.I. Production and properties of pancreatin immobilized on carboxymethylcellulose. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 1998, v. 34, no. 1, pp. 57–62.
- [20] Ivankin A.N., Neklyudov A.D., Proshina O.P. *Osobennosti kollagena v myasnom syr'e* [Features of collagen in raw meat]. *Myasnaya industriya* [Meat industry], 2009, no. 1, pp. 59–63.
- [21] Ivankin A.N., Oliferenko G.L., Kulikovskiy A.V. *Analiticheskaya khimiya* [Analytical chemistry]. Moscow: Knorus, 2021, 300 p.
- [22] Oliferenko G.L., Ivankin A.N., Zhilin Yu.N., Proshina O.P., Zarubina A.N., Vostrikova N.L., Kulikovskiy A.V., Baburina M.I. *Kinetika kislotoy transformatsii prirodnykh polisakharidov drevesnoy biomassy v monosakhara dlya polucheniya kormovykh dobavok i mikrobiologicheskikh sred* [Kinetics of acid transformation of natural polysaccharides of wood biomass to mono sugar for obtaining feed additives and microbiological media]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2017, vol. 21, no. 6, pp. 61–67. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-6-61-67
- [23] Neklyudov A.D., Berdutina A.V., Ivankin A.N., Karpo B.S., Osoka A.V. Determination of the kinetic constants of hydrolysis of keratin-containing raw materials. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 1999, v. 35, no. 1, pp. 45–49.

Authors' information

Ivankin Andrey Nikolayevich ✉ — Dr. Sci. (Chem.), Professor of the Department of Chemistry BMSTU (Mytishchi branch), aivankin@mgul.ac.ru

Zarubina Angella Nikolaevna — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor, Head of the Department of Chemistry and Chemical Technologies of the Forest Complex of BMSTU (Mytishchi branch), zarubina@mgul.ac.ru

Verevkin Aleksey Nikolaevich — Cand. Sci. (Chem.), Associate Professor of the Department of Chemistry and Chemical Technologies of the Forest Complex of BMSTU (Mytishchi branch), verevkin@mgul.ac.ru

Baburina Marina Ivanovna — Cand. Sci. (Biol.), Associate Professor, Leading Researcher of the Department of scientific, applied and technological developments of the V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences, baburina2005@yandex.ru

Received 15.03.2022.

Approved after review 11.07.2022.

Accepted for publication 15.08.2022.

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

АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К РЕЙТИНГОВЫМ ОЦЕНКАМ СОСТОЯНИЯ ВИДОВ РАСТЕНИЙ В НЕЧЕТКИХ УСЛОВИЯХ ИХ МОНИТОРИНГА

О.М. Полещук

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

Приведен анализ моделей рейтингового оценивания зеленых насаждений в условиях больших городов, разработанных автором, которые основаны на формализации состояния видов растений с помощью лингвистических переменных, моделирующих оценочные действия экспертов в нечетких условиях. Первая модель, разработанная автором ранее, позволяет найти рейтинговые оценки зеленых насаждений, сравнивая их состояния друг с другом. Вторая модель, разработанная в настоящей статье, позволяет найти рейтинговые оценки видов растений на основе их идеального состояния. Для этого определяется расстояние между лингвистическими переменными, формализующими реальное состояние вида растений и его идеальное состояние. Поскольку состояния зеленых насаждений сравниваются с идеальным состоянием, а не между собой, то полученная рейтинговая оценка одного вида растений не зависит от данных, полученных при оценке других видов. Разработанные модели дают возможность их альтернативного применения в зависимости от поставленных целей и задач.

Ключевые слова: нечеткая информация, рейтинговая оценка, вид растений

Ссылка для цитирования: Полещук О.М. Анализ подходов к рейтинговым оценкам состояния видов растений в нечетких условиях их мониторинга // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 5. С. 128–134. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-5-128-134

Одной из основных задач экологического мониторинга является задача экспертного оценивания состояния зеленых насаждений. Процесс получения экспертных оценок состоит в визуальном исследовании насаждений и отнесении состояния каждого отдельного растения к одному из уровней вербальной шкалы: «старый сухостой», «свежий сухостой», «усыхающее», «сильно ослабленное», «средне ослабленное», «умеренно ослабленное», «здоровое без признаков ослабления».

Использование экспертами вербальных (лингвистических) шкал при оценке качественных (нечисловых) характеристик (в частности, состояния вида растений) вносит в процесс оценивания неопределенность в виде нечеткости, поэтому возникает необходимость использования аппарата теории нечетких множеств для формализации и обработки нечеткой информации (информации с нечеткими данными).

В настоящее время разработаны методы формализации нечеткой информации [1, 2], модели рейтингового и кластерного анализа состояний видов растений в нечетких условиях [3–5].

Недостаток разработанной модели [5] заключается в том, что рейтинговые оценки являются результатом сравнительного анализа видов растений друг с другом, что не всегда дает реальную картину. Например, выбирается совокупность видов растений, которые плохо адаптированы

к условиям большого города. В результате получают вариационный ряд, членами которого являются виды, расположенные в порядке возрастания их рейтинга. Полученные рейтинги не позволяют оценить реальную картину, поскольку рассматривается совокупность, в которой все виды плохо адаптированы к урбанистическим условиям. В настоящей статье предлагается устранить недостаток, состоящий в зависимости рейтинговых оценок от рассматриваемой совокупности видов растений.

Цель работы

Цель работы — разработка модели рейтингового оценивания видов растений на основе их идеального состояния и сравнительный анализ этой модели и модели, разработанной автором ранее.

Основные понятия и определения

Нечетким множеством \tilde{A} называется множество пар вида

$$\{(x, \mu_{\tilde{A}}(x)) : x \in X\}, \text{ где } \mu_{\tilde{A}}(x) : X \rightarrow [0, 1] \text{ [6].}$$

Если значения нечеткого множества принадлежат действительной прямой, то нечеткое множество называется нечетким числом. Из определения следует, что каждому значению $x \in X$ соответствует значение функции принадлежности $0 \leq \mu_{\tilde{A}}(x) \leq 1$, которое отражает степень уверенности (возможности) того, что $x \in \tilde{A}$.

Нечеткие числа используются для построения лингвистических переменных, формализующих

значения качественных (нечисловых) характеристик или описывающих значения количественных (числовых) характеристик в лингвистических терминах.

Лингвистической переменной называется пятерка $\{Y, T(Y), U, V, S\}$, где Y — название переменной; $T(Y) = \{Y_j, j = 1, m\}$ — терм-множество переменной Y , т. е. множество термов, или названий лингвистических значений переменной Y (каждое из этих значений — нечеткая переменная со значениями из универсального множества); V — синтаксическое правило, порождающее названия значений лингвистической переменной Y ; S — семантическое правило, которое ставит в соответствие каждой нечеткой переменной с названием из $T(Y)$ нечеткое подмножество универсального множества U [6].

Функции принадлежности нечетких чисел, соответствующих термам лингвистической переменной, определяются четырьмя параметрами, если используется нечеткое T -число $\tilde{B} = (b_1, b_2, b_L, b_R)$. Первые два параметра являются абсциссами левой и правой вершин верхнего основания трапеции, а последние два параметра являются длинами левого и правого крыльев трапеции. Функции принадлежности нечетких чисел, соответствующих термам лингвистической переменной, определяются тремя параметрами, если используется треугольное нечеткое число $\tilde{B} = (b, b_L, b_R)$. Первый параметр является абсциссой вершины треугольника, а последние два параметра являются длинами его левого и правого крыльев.

Семантическим пространством называется лингвистическая переменная с фиксированным терм-множеством [7].

В работе [8] для нечеткого числа $\tilde{B} = (b_1, b_2, b_L, b_R)$ был определен взвешенный отрезок $[\beta_1, \beta_2]$, в работе [9] для нечеткого числа был определен агрегирующий показатель ϑ :

$$\beta_1 = b_1 - \frac{1}{6}b_L; \beta_2 = b_2 + \frac{1}{6}b_R; \quad (1)$$

$$\vartheta = \frac{b_1 + b_2}{2} + \frac{(b_R - b_L)}{12}. \quad (2)$$

В работе [10] определено расстояние между нечеткими числами $\tilde{C} = (c_1, c_2, c_L, c_R)$, $\tilde{B} = (b_1, b_2, b_L, b_R)$ со взвешенными отрезками $[\alpha_1, \alpha_2]$, $[\beta_1, \beta_2]$:

$$d(\tilde{C}, \tilde{B}) = \sqrt{(\alpha_1 - \beta_1)^2 + (\alpha_2 - \beta_2)^2}. \quad (3)$$

В работах [1, 11] разработаны методы формализации состояния видов растений на основе лингвистических переменных. Если оценивается состояние K растений, из которых состояние k_i , $l = 1, 7$ растений оценено l -м уровнем шкалы

с уровнями A_l , $l = 1, 7$: «старый сухостой», «свежий сухостой», «усыхающее», «сильно ослабленное», «средне ослабленное», «умеренно ослабленное», «здоровое без признаков ослабления», тогда функция принадлежности $\mu_l(x)$, $l = 1, 7$ уровня A_l , $l = 1, 7$ строится таким образом, что площадь фигуры (трапеции или треугольника), ограниченной графиком этой функции, равна $a_l = \frac{k_l}{K}$, $l = 1, 7$.

Точки пересечения имеют только соседние функции, ординаты точек пересечения составляют 0,5, абсциссы точек пересечения равны соответственно $a_1, a_1 + a_2, a_1 + a_2 + a_3, \dots, \sum_{l=1}^m a_l, \sum_{l=1}^m a_l, 1 - a_7$.

Предположим, что K растений содержат k_i , $i = 1, m$ растений i -го вида, $\sum_{i=1}^m k_i = K$. Из k_i , $i = 1, m$ растений состояние k_{il} , $i = 1, m, l = 1, 7$ растений оценено l -м уровнем шкалы. Введем обозначения $a_{il} = \frac{k_{il}}{k_i}$, $i = 1, m, l = 1, 7$.

Тогда функция принадлежности λ_i , $i = 1, m$ нечеткой рейтинговой оценки i -го вида растений находится, согласно работе [12], следующим образом

$$\lambda_i = a_{i1}\mu_1 + \dots + a_{i7}\mu_7 = \sum_{l=1}^7 a_{il}\mu_l, \quad i = 1, m. \quad (4)$$

Для нечетких чисел с функциями принадлежности λ_i , $i = 1, m, \mu_1, \mu_7$ определяются агрегирующие показатели по формуле (2). Использование этой формулы позволяет сохранить информационные особенности нечетких чисел по сравнению с использованием метода центра тяжести [13]. Полученные числа обозначены соответственно через v_i , $i = 1, m, \xi_1, \xi_7$. Нормированная рейтинговая оценка i -го вида растений находится, согласно работе [14], следующим образом

$$E_i = \frac{v_i - \xi_1}{\xi_7 - \xi_1}, \quad i = 1, m. \quad (5)$$

Постановка задачи и ее решение

Предположим, что оценивается состояние m видов растений, при этом используется шкала с уровнями A_l , $l = 1, 7$: «старый сухостой», «свежий сухостой», «усыхающее», «сильно ослабленное», «средне ослабленное», «умеренно ослабленное», «здоровое без признаков ослабления». Состояние растений оценивают эксперты на основе визуального исследования.

Данные, поступающие от экспертов, содержат информацию по каждому исследуемому растению. Обозначим через a_{il} , $i = 1, m, l = 1, 7$ относительное число растений i -го вида, состояние

которых оценено l -м уровнем шкалы. Если исследовано κ_i , $i = \overline{1, m}$ растений i -го вида, из них состояние κ_{il} , $i = \overline{1, m}$, $l = \overline{1, 7}$ растений оценено l -м уровнем шкалы, тогда

$$a_{il} = \frac{\kappa_{il}}{\kappa_i}, \quad i = \overline{1, m}, \quad l = \overline{1, 7}.$$

Используя эти данные и метод [1], построим m лингвистических переменных с нечеткими числами \tilde{A}_{il} , $i = \overline{1, m}$, $l = \overline{1, 7}$, формализующими уровни (термы) A_l , $l = \overline{1, 7}$. Для построения функций принадлежности лингвистических переменных используются нечеткие числа трапециoidalного или треугольного типа, которые определяются соответственно четырьмя или тремя параметрами. Использование определенного типа нечетких чисел определяется данными, поступающими от экспертов.

Лингвистическую переменную, или совокупность нечетких чисел \tilde{A}_{il} , $i = \overline{1, m}$, $l = \overline{1, 7}$, будем называть состоянием i -го вида растений.

Определим идеальное состояние видов растений, используя лингвистическую переменную с нечеткими числами $\tilde{A}_1^{id} = \tilde{A}_2^{id} = \tilde{A}_3^{id} = \tilde{A}_4^{id} = \tilde{A}_5^{id} = \tilde{A}_6^{id} = (0, 0, 0, 0)$, $\tilde{A}_7^{id} = (0, 1, 0, 0)$. Идеальным состоянием видов растений, согласно этой формализации, считается присутствие только здоровых растений без признака ослабления.

Обозначим через $[\delta_{1ib}, \delta_{2il}]$, $i = \overline{1, m}$, $l = \overline{1, 7}$ взвешенные отрезки нечетких чисел \tilde{A}_{il} , $i = \overline{1, m}$, $l = \overline{1, 7}$. Для определения взвешенных отрезков используется формула (1).

Определим взвешенные отрезки для идеального состояния видов растений. Для нечетких чисел $\tilde{A}_1^{id} = \tilde{A}_2^{id} = \tilde{A}_3^{id} = \tilde{A}_4^{id} = \tilde{A}_5^{id} = \tilde{A}_6^{id} = (0, 0, 0, 0)$ взвешенные отрезки превращаются в нулевую точку. Взвешенным отрезком нечеткого числа $\tilde{A}_7^{id} = (0, 1, 0, 0)$ является отрезок $[0, 1]$.

Рейтинговую оценку D_i , $i = \overline{1, m}$ i -го вида растений найдем, используя формулу (3), следующим образом:

$$D_i = 1 - \frac{1}{7} \left(\sum_{l=1}^6 \sqrt{(\delta_{1il})^2 + (\delta_{2il})^2} + \sqrt{(\delta_{1i7})^2 + (1 - \delta_{2i7})^2} \right). \quad (6)$$

Отличие рейтинговой оценки (6) от разработанной ранее рейтинговой оценки (5) состоит в ее независимости от данных, полученных при оценивании других видов растений.

Пример

Рассмотрим данные оценивания пяти видов древесных и кустарниковых растений (липа крупнолистная, вяз гладкий, кизильник блестящий, ясень обыкновенный, боярышник однопестичный), произрастающих в сложных экологических условиях Бульварного кольца г. Москвы. Данные получены в рамках общегородского мониторинга состояния зеленых насаждений в 1997–2001 гг.

Одной из целей исследования было определение перспективности использования этих видов для озеленения города.

Обозначим через a_l , $l = \overline{1, 7}$ относительное число растений всех видов в насаждениях Бульварного кольца, оцененных экспертами l -м уровнем шкалы с уровнями A_l , $l = \overline{1, 7}$: «старый сухостой», «свежий сухостой», «усыхающее», «сильно ослабленное», «средне ослабленное», «умеренно ослабленное», «здоровое без признаков ослабления».

Приведем относительные числа растений Бульварного кольца в рамках уровней вербальной шкалы a_l , $l = \overline{1, 7}$:

$a_l, l = \overline{1, 7}$	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7
Относительное число	0,009	0,010	0,030	0,130	0,289	0,437	0,095

По представленным данным и согласно методу из работы [1] построим лингвистическую переменную «Состояние насаждений Бульварного кольца» (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Параметры функций принадлежности лингвистической переменной «Состояние насаждений Бульварного кольца»
Functions parameters of the linguistic variable «The state of plantations in the Boulevard Ring»

$\mu_l, l = \overline{1, 7}$	Параметры			
μ_1	0,000	0,005	0,000	0,009
μ_2	0,014	0,014	0,009	0,010
μ_3	0,024	0,034	0,010	0,030
μ_4	0,064	0,114	0,030	0,130
μ_5	0,244	0,324	0,130	0,289
μ_6	0,613	0,858	0,289	0,095
μ_7	0,953	1,000	0,095	0,000

Обозначим через a_{il} , $i = \overline{1, 5}$, $l = \overline{1, 7}$ относительные числа растений каждого из пяти видов в насаждениях Бульварного кольца, оцененных экспертами l -м уровнем шкалы (табл. 2).

Используя данные табл. 1, 2 и формулы (4), (5), вычислим нечеткие рейтинговые оценки с функциями принадлежности λ_i , $i = \overline{1, 5}$, четкие рейтинговые оценки E_i , $i = \overline{1, 5}$ и рейтинг пяти видов древесных и кустарниковых растений Бульварного кольца (табл. 3).

Найдем рейтинговые оценки пяти видов растений Бульварного кольца, используя разработанную в настоящей статье модель.

По данным табл. 2 и согласно методу из работы [1] построим пять лингвистических переменных «Состояние i -го вида растений Бульварного кольца». Параметры функций принадлеж-

Т а б л и ц а 2

**Относительные числа растений пяти видов в насаждениях
Бульварного кольца в рамках уровней вербальной шкалы**
Relative numbers of five species in the plantations of the Boulevard Ring
within the levels of the verbal scale

№ п/п	Название вида	Бульварное кольцо						
		a_{i1}	a_{i2}	a_{i3}	a_{i4}	a_{i5}	a_{i6}	a_{i7}
1	Липа крупнолистная	0,002	0,009	0,022	0,087	0,274	0,426	0,180
2	Вяз гладкий	0,000	0,005	0,014	0,057	0,220	0,650	0,054
3	Кизильник блестящий	0,000	0,000	0,000	0,083	0,125	0,670	0,122
4	Ясень обыкновенный	0,000	0,000	0,077	0,000	0,307	0,462	0,154
5	Боярышник однопестичный	0,000	0,000	0,000	0,040	0,240	0,680	0,040

Т а б л и ц а 3

**Нечеткие рейтинговые оценки, рейтинговые оценки и рейтинг видов
древесных и кустарниковых растений Бульварного кольца**
Fuzzy ratings, ratings and ratings of tree and shrub species in the Boulevard Ring

№ п/п	Название вида	$\lambda_i, i = \overline{1, 5}$				$E_i, i = \overline{1, 5}$		Рейтинг
1	Липа крупнолистная	0,327	0,506	0,645	0,777	0,590	5	
2	Вяз гладкий	0,508	0,690	0,224	0,133	0,602	3	
3	Кизильник блестящий	0,339	0,563	0,747	0,857	0,654	1	
4	Ясень обыкновенный	0,318	0,507	0,653	0,788	0,592	4	
5	Боярышник однопестичный	0,283	0,516	0,706	0,845	0,613	2	

Т а б л и ц а 4

**Параметры функций принадлежности лингвистических переменных
«Состояние i -го вида растений Бульварного кольца»**
Functions parameters of linguistic variables
«State of the i -th plant species of the Boulevard Ring»

	Липа крупнолистная				Вяз гладкий				Кизильник блестящий			
μ_{i1}	0,000	0,001	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
μ_{i2}	0,003	0,007	0,002	0,009	0,000	0,003	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000
μ_{i3}	0,016	0,022	0,009	0,022	0,008	0,012	0,005	0,014	0,000	0,000	0,000	0,000
μ_{i4}	0,044	0,077	0,022	0,087	0,026	0,048	0,014	0,057	0,000	0,042	0,000	0,083
μ_{i5}	0,164	0,257	0,087	0,274	0,105	0,186	0,057	0,220	0,125	0,146	0,083	0,125
μ_{i6}	0,531	0,730	0,274	0,180	0,406	0,919	0,220	0,054	0,271	0,817	0,125	0,122
μ_{i7}	0,910	1,000	0,180	0,000	0,973	1,000	0,054	0,000	0,939	1,000	0,122	0,000

ности $\mu_{il}, i = \overline{1, 5}, l = \overline{1, 7}$ этих переменных приведены в табл. 4, 5.

Используя данные табл. 4, 5 и формулу (6), определяем рейтинговые оценки пяти видов растений (табл. 6).

Анализ табл. 3 и 6, позволяет отметить, что результаты рейтингового оценивания состояния пяти видов растений Бульварного кольца, полученные в результате применения разных моделей, отличаются не значительно.

Согласно обеим моделям, лучший рейтинг имеет состояние вида кизильник блестящий,

второе место по рейтингу занимает вид боярышник однопестичный и третье место занимает вид вяз гладкий.

Применение модели, разработанной автором и представленной в статье, показало, что вид липа крупнолистная занимает четвертое место в рейтинге, и последнее место занимает вид ясень обыкновенный (см. табл. 6).

Результаты для видов липа крупнолистная и ясень обыкновенный, полученные на основе этой модели, отличаются от результатов, полученных на основе модели, разработанной автором ранее

**Параметры функций принадлежности лингвистических переменных
«Состояние *i*-го вида растений Бульварного кольца»**

**Functions parameters of linguistic variables
«State of the *i*-th plant species of the Boulevard Ring»**

	Ясень обыкновенный				Боярышник однопестичный			
μ_{i1}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
μ_{i2}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
μ_{i3}	0,000	0,077	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
μ_{i4}	0,077	0,077	0,000	0,000	0,000	0,020	0,000	0,040
μ_{i5}	0,077	0,231	0,000	0,307	0,060	0,160	0,040	0,240
μ_{i6}	0,538	0,769	0,307	0,154	0,400	0,940	0,240	0,040
μ_{i7}	0,923	1,000	0,154	0,000	0,980	1,000	0,040	0,000

Т а б л и ц а 6

**Рейтинговые оценки и рейтинг видов
древесных и кустарниковых растений
Бульварного кольца**

**Rating of tree and shrub plant species
in the Boulevard Ring**

№ п/п	Название вида	$D_i, i = \overline{1, 5}$	Рейтинг
1	Липа крупнолистная	0,671	4
2	Вяз гладкий	0,673	3
3	Кизильник блестящий	0,707	1
4	Ясень обыкновенный	0,670	5
5	Боярышник однопестичный	0,683	2

(см. табл. 3). Вид липа крупнолистная занимает последнее, пятое, место в рейтинге, а вид ясень обыкновенный — четвертое. Рейтинговые оценки видов липа крупнолистная и ясень обыкновенный очень близки в рамках обеих моделей.

Модель, разработанная автором и представленная в статье, основана на сравнительном анализе состояния видов с их идеальным состоянием, в то время как модель, разработанная ранее, дает возможность сравнивать состояния видов между собой, поэтому корректировка результатов после применения новой модели вполне ожидаемая.

Выводы

Зеленые насаждения, произрастающие в условиях больших городов, регулируют качество воздуха мегаполиса, депонируют углерод, регулируют микроклимат, обеспечивают сток ливневых вод, способствуют поддержке здоровья населения, создают зоны отдыха, то есть оказывают комплекс экосистемных услуг.

Важное значение при этом приобретает оценка состояния видов растений в целях принятия решений о включении наиболее устойчивых видов в план озеленения.

В статье разработана модель оценки состояния видов растений на основе их идеального состояния. Для формализации состояния растений и идеального состояния использованы лингвистические переменные с последующим определением расстояния между ними. Сравнительный анализ новой модели с моделью, разработанной автором ранее, показал ее преимущество, заключающееся в более точном и объективном подходе к определению рейтинговых оценок. Это позволило получить реальную картину без сравнительного анализа состояний растений друг с другом.

Числовой пример по оценке состояния пяти видов растений, произрастающих на Бульварном кольце г. Москвы, позволил определить рейтинговые оценки с использованием обеих моделей. Полученные практические результаты подтвердили теоретические выводы. Разработанная в статье модель может с успехом применяться не только для оценки состояния видов растений, но и для оценки других качественных характеристик экологического мониторинга.

Список литературы

- [1] Poleshchuk O., Komarov E. Expert Fuzzy Information Processing // Studies in Fuzziness and Soft Computing, 2011, v. 268, pp. 1–239.
- [2] Borisov A.N., Krumberg O.A., Fedorov I.P. Decision making on the basis of fuzzy models: Examples of use. Riga: Zinatne, 1990, 184 p.
- [3] Poleshchuk O. M., Komarov E. G., Darwish A. Comparative analysis of expert criteria on the basis of complete orthogonal semantic spaces // Proceedings of the 19th International Conference on Soft Computing and measurements (SCM), 2016, pp. 369–373. DOI: 10.1109/SCM.2016.7519784
- [4] Алтунин А.Е., Семухин М.В. Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях. Тюмень: Изд-во Тюменского гос. ун-та, 2002. 268 с.
- [5] Darwish A., Poleshchuk O. New models for monitoring and clustering of the state of plant species based on semantic spaces // J. of Intelligent and Fuzzy Systems, 2014, v. 26, no. 3, pp. 1089–1094. DOI: 10.3233/IFS-120702

- [6] Zadeh L.A. Fuzzy logic and approximate reasoning // Synthese, 1975, v. 80, pp. 407–428.
- [7] Ryjov A. Fuzzy Linguistic Scales: Definition, Properties and Applications / Eds. L. Reznik, V. Kreinovich // Soft Computing in Measurement and Information Acquisition // Studies in Fuzziness and Soft Computing, 2003, v. 127, pp. 1–5.
- [8] Poleshchuk O. M., Komarov E. G. New defuzzification method based on weighted intervals // Annual Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society – NAFIPS'2008, New York, May 19–22, 2008, Springer, Berlin, p. 4531223.
- [9] Darwish A., Poleshchuk O., Komarov E. A new fuzzy linear regression model for a special case of interval type-2 fuzzy sets // Applied Mathematics & Information Sciences, 2016, v. 10, no 3, pp. 1209–1214. DOI:10.18576/amis/100340
- [10] Poleshchuk O.M., Komarov E.G. Multiple hybrid regression for fuzzy observed data // Annual Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society – NAFIPS'2008, New York, May 19–22, 2008, Springer, Berlin, p. 4531224.
- [11] Poleshchuk O.M., Komarov E.G., Darwish A. Assessment of the state of plant species in urban environment based on fuzzy information of the expert group // XX IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM), 2017, Saint Petersburg, 23–25 May, pp. 651–654. DOI:10.1109/SCM.2017.7970678
- [12] Poleshchuk O., Komarov E. The determination of rating points of objects and groups of objects with qualitative characteristics // Annual Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society – NAFIPS'2009, Cincinnati, Ohio, June 14–17, 2009, Springer, Berlin, p. 5156416.
- [13] Yager R. R., Filev D. P. On the issue of defuzzification and selection based on a fuzzy set // Fuzzy Sets Syst., 1993, v. 55, pp. 255–272.
- [14] Poleshchuk O., Komarov E. The determination of rating points of objects with qualitative characteristics and their usage in decision making problems // International J. of Computational and Mathematical Sciences, 2009, v. 3, no. 7, pp. 360 – 364.

Сведения об авторе

Полещук Ольга Митрофановна — д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Высшая математика и физика», МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), poleshchuk@mgul.ac.ru

Поступила в редакцию 17.03.2022.

Одобрено после рецензирования 12.05.2022.

Принята к публикации 13.07.2022.

STATE OF PLANT SPECIES RATING ASSESSMENTS APPROACHES IN FUZZY CONDITIONS OF THEIR MONITORING

O.M. Poleshchuk

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

poleshchuk@mgul.ac.ru

The paper analyzes the models of rating assessment of green spaces in large cities, developed by the author. Both models are based on the formalization of the state of plant species using linguistic variables that model the evaluation actions of experts in fuzzy conditions. The first model, developed earlier by the author, allows you to find the ratings of green spaces by comparing their states with each other. Thus, the resulting rating of the state of a plant species provides information about the advantages of one species over another, but does not provide complete information about the real state of green spaces. At the same time, it is possible that all plant species from the considered population, regardless of the rating, are not resistant to harmful urban environment. The second model, developed in this article, allows you to find the ratings of plant species based on their ideal state. For this, the distance between the linguistic variables that formalize the real state of a plant species and its ideal state is determined. Since the states of green spaces are compared with the ideal state, and not among themselves, the resulting rating of one plant species does not depend on the data obtained in the evaluation of other species. The developed models allow their alternative application depending on the goals and objectives.

Keywords: fuzzy information, rating estimate, plant species

Suggested citation: Poleshchuk O.M. *Analiz podkhodov k reytingovym otsenkam sostoyaniya vidov rasteniy v nechetkikh usloviyakh ikh monitoringa* [State of plant species rating assessments approaches in fuzzy conditions of their monitoring]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 5, pp. 128–134.

DOI: 10.18698/2542-1468-2022-5-128-134

References

- [1] Poleshchuk O., Komarov E. Expert Fuzzy Information Processing. Studies in Fuzziness and Soft Computing, 2011, v. 268, pp. 1–239.
- [2] Borisov A.N., Krumberg O.A., Fedorov I.P. Decision making on the basis of fuzzy models: Examples of use. Riga: Zinatne, 1990, 184 p.

- [3] Poleshchuk O. M., Komarov E. G., Darwish A. Comparative analysis of expert criteria on the basis of complete orthogonal semantic spaces. Proceedings of the 19th International Conference on Soft Computing and measurements (SCM), 2016, pp. 369–373. DOI: 10.1109/SCM.2016.7519784
- [4] Altunin A., Semuhin M. *Modeli i algoritmy prinyatiya resheniy v nechetkikh usloviyakh* [Models and algorithms of decision-making in fuzzy conditions]. Tumen.: Tumen State University, 2002, 268 p.
- [5] Darwish A., Poleshchuk O. New models for monitoring and clustering of the state of plant species based on semantic spaces. J. of Intelligent and Fuzzy Systems, 2014, v. 26, no. 3, pp. 1089–1094. DOI: 10.3233/IFS-120702
- [6] Zadeh L.A. Fuzzy logic and approximate reasoning. Synthese, 1975, v. 80, pp. 407–428.
- [7] Ryjov A. Fuzzy Linguistic Scales: Definition, Properties and Applications / Eds. L. Reznik, V. Kreinovich // Soft Computing in Measurement and Information Acquisition. Studies in Fuzziness and Soft Computing, 2003, v. 127, pp. 1–5.
- [8] Poleshchuk O. M., Komarov E. G. New defuzzification method based on weighted intervals. Annual Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society – NAFIPS'2008, New York, May 19–22, 2008, Springer, Berlin, p. 4531223.
- [9] Darwish A., Poleshchuk O., Komarov E. A new fuzzy linear regression model for a special case of interval type-2 fuzzy sets. Applied Mathematics & Information Sciences, 2016, v. 10, no 3, pp. 1209–1214. DOI:10.18576/amis/100340
- [10] Poleshchuk O.M., Komarov E.G. Multiple hybrid regression for fuzzy observed data. Annual Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society – NAFIPS'2008, New York, May 19–22, 2008, Springer, Berlin, p. 4531224.
- [11] Poleshchuk O.M., Komarov E.G., Darwish A. Assessment of the state of plant species in urban environment based on fuzzy information of the expert group. XX IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM), 2017, Saint Petersburg, 23–25 May, pp. 651–654. DOI:10.1109/SCM.2017.7970678
- [12] Poleshchuk O., Komarov E. The determination of rating points of objects and groups of objects with qualitative characteristics. Annual Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society – NAFIPS'2009, Cincinnati, Ohio, June 14–17, 2009, Springer, Berlin, p. 5156416.
- [13] Yager R. R., Filev D. P. On the issue of defuzzification and selection based on a fuzzy set. Fuzzy Sets Syst., 1993, v. 55, pp. 255–272.
- [14] Poleshchuk O., Komarov E. The determination of rating points of objects with qualitative characteristics and their usage in decision making problems. International J. of Computational and Mathematical Sciences, 2009, v. 3, no. 7, pp. 360 – 364.

Author's information

Poleshchuk Ol'ga Mitrofanovna — Dr. Sci. (Tech.), Professor, Head of Higher Mathematics and Physics Department of BMSTU (Mytishchi branch), poleshchuk@mgul.ac.ru

Received 17.03.2022.

Approved after review 12.05.2022.

Accepted for publication 13.07.2022.

АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОДНОМЕРНОЙ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ДИНАМИКИ ОДИНОЧНОЙ ЧАСТИЦЫ В АКУСТИЧЕСКОМ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЯХ

Д.А. Тукмаков

ФГБУН «Казанский научный центр Российской академии наук», 420111, Татарстан, г. Казань, ул. Лобачевского, д. 2/31

tukmakovda@imm.knc.ru

Представлены результаты расчетов динамики электрически нейтральной и электрически заряженной частицы в закрытом канале. Приведена математическая модель динамики одиночной частицы в акустическом поле, в которой потенциал акустического поля задавался одномерным линейным волновым уравнением. Динамика частицы описана дифференциальным уравнением, ставящим зависимость скорости частицы от приложенных к ней сил — силы Стокса, действующей со стороны акустического поля, и силы Кулона, действующей со стороны электрического поля. Выявлено, что амплитуда колебаний электрически нейтральной частицы меньше, чем амплитуда колебаний электрически заряженной частицы в электрическом поле. Определено, что при малой амплитуде колебаний поршня амплитуда изменения скорости электрически заряженной частицы под действием сил электрического поля превосходит амплитуду изменения скорости электрически нейтральной частицы. В работе анализировалось влияние на динамику электрически заряженной частицы в акустическом поле при стационарном и нестационарном распределениях потенциала электрического поля. Приведены расчеты динамики электрически заряженной частицы в периодическом электрическом поле с различными частотами изменения электрического поля. Обнаружено, что при воздействии на частицу переменного электрического поля синфазного полю скорости газа, скорость движения частиц увеличивается, в случае если частота воздействия переменного электрического поля находится в противофазе со скоростью движения газа, то скорость движения частицы и уменьшается. Определено, что в случае, если на частицу действует стационарное электрическое поле, то частица дрейфует к той части канала, к которой приложен потенциал, знак которого противоположен знаку заряда частицы.

Ключевые слова: математическое моделирование, динамика многофазных сред, волновое уравнение

Ссылка для цитирования: Тукмаков Д.А. Аналитическая модель одномерной нестационарной динамики одиночной частицы в акустическом и электрическом полях // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 5. С. 135–144. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-5-135-144

Разделом физики сплошных сред является механика сплошных сред (жидкости, газа или плазмы), при этом в механике существенное значение имеет математическое моделирование течений жидких, газообразных сред или ионизированных газов [1–25]. При исследовании процессов механики жидкости и газа существенную роль играют методы математического моделирования [1, 2]. В статье [3] математически моделировалось течение сжимаемой среды в канале произвольного поперечного сечения с меняющейся по длине проходной площадью. В работе [4] представлены результаты исследований потерь мощности и потерь энергии на вентиляцию и трение дисков рабочих колес ступеней исследованных турбин с различными величинами отношения давления перед соплами соплового аппарата к давлению за рабочим колесом. В статье [5] рассмотрена задача об адиабатическом сжатии бесстолкновительного газа с подвижной и неподвижной границами, в предположении одномерной геометрии течения, получен ряд точных решений.

Помимо классической гидродинамики однородных сред в естественной природе и технических приложениях встречаются течения сплошных сред в электрическом и магнитном полях [1, 6, 7]. В работе [7] приведены результаты расчетов влияния магнитного поля на характеристики плазмы в магнетронном разряде с полым катодом. Показано, что величина и геометрия магнитного поля оказывают сильное влияние на параметры плазмы.

Другим разделом механики сплошных сред является динамика неоднородных сред [8–23]. В статье [8] предложен аппарат очистки газа от твердых частиц дисперсностью от 0,1 мкм. Принцип действия аппарата основан на коагуляции частиц на перфорированных в виде щелей пластинах с орошением загрязненного воздуха водой через форсунки с дисперсным составом от 2,0 до 10 мкм. При прохождении трехфазного потока через щели первой пластины сепаратора вследствие турбулизации потока в струйках с малым масштабом турбулентности возникает турбулентная коагуляция, что приводит к укрупнению частиц. Выявлены зависимости эффектив-

ности аппарата от ширины щелей и их взаимного расположения на первой и второй пластинах, сочетание которых обеспечивает режим повышенной коагуляции и высокий КПД улавливания частиц аппаратом. В монографии [9] представлена общая теория механики многофазных сред, разработаны математические модели течений неоднородных сред, определяемых взаимодействием компонент смесей. В монографиях [11, 12] рассматривались аналитические решения для динамики акустических волн в неоднородных средах. В монографиях [10, 13] представлены численные модели нелинейных ударно-волновых процессов в запыленных и газокпельных средах. В статье [20] представлены математические модели динамики нестационарных течений пылевой плазмы без учета влияния эффектов, связанных с газовой динамикой, представлены численные и аналитические решения для модели с двухмерной пространственной геометрии. В публикации [21] проводится сопоставление экспериментального исследования и численных расчетов течения запыленной электрически заряженной двухфазной среды в канале, без учета взаимообратного силового влияния компонент смеси. В работе [22] получено аналитическое решение уравнения Кортевега-де-Вриза с затуханием, исследовано влияние параметров плазмы на амплитуду и ширину ионно-звуковых волн в пылевой плазме. Статья [23] посвящена усовершенствованию технологии электрических фильтров, очищающих газы выбросы промышленных предприятий от дисперсных примесей.

В данной работе для разработки математической модели используются подходы различных разделов механики сплошных сред. Классическая теория акустики однородной среды применяется к описанию динамики газа, в котором движется частица, теория динамики неоднородных сред — для описания воздействия акустического поля на частицу, теория динамики электрически заряженных сред — для описания воздействия электрического поля на движущуюся частицу.

Цель работы

Цель работы — исследование динамики частицы под воздействием акустического и электрического полей. Также рассмотрено влияние на динамику электрически заряженной частицы стационарных и нестационарных электрических полей, нестационарных периодических электрических полей с различными частотами.

Результаты и обсуждение

Из приведенного выше литературного обзора следует, что в связи с задачами физики плазмы и фильтрации аэрозолей, актуальными являются

теоретические исследования динамики неоднородных сред, как в аэродинамических, так и в электрических полях.

Разработана математическая модель колебаний частицы в акустическом поле с учетом воздействия силы Кулона. Получено аналитическое решение совокупности уравнений, описывающих динамику нестационарного акустического поля и динамику одиночной электрически заряженной частицы в этом акустическом поле. Математическая модель реализована в виде компьютерной программы.

Акустическое поле описывает волновое уравнение

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2}, \quad (1)$$

где φ — потенциал акустического поля;
 c — скорость звука;
 x, t — пространственная и временная переменная.

Скорость движения газа u является производной по пространству от потенциала акустического поля

$$\frac{\partial \varphi}{\partial x} = u. \quad (2)$$

Изменение давления газа p (p_0 — равновесное давление, ρ — плотность газа) описывается уравнением

$$p = p_0 + p' = p_0 - \rho \frac{\partial \varphi}{\partial t}. \quad (3)$$

Скорость дисперсной части описывается дифференциальным уравнением

$$\frac{\partial u_1}{\partial t} = \frac{a}{m}(u - u_1) - \frac{q_0}{m} \frac{\partial \psi}{\partial x}, \quad (4)$$

где q_0 — удельный заряд частицы;
 m — масса частицы;
 u_1 — скорость частицы;
 $\psi(x, t)$ потенциал электрического поля, задаваемый уравнением;
 a — коэффициент сопротивления [10];
 μ — вязкость газа;

$$a = 6\pi d\mu; \quad (5)$$

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} = 0. \quad (6)$$

Одномерное уравнение Лапласа (6) [6] может иметь стационарное решение (7) или нестационарное решение (8)

$$\psi(x) = \psi_1 + x \frac{\psi_2 - \psi_1}{L}; \quad (7)$$

$$\psi(x, t) = \cos(\alpha + \omega t) \psi_1 + x \cos(\alpha + \omega t) \frac{\psi_2 - \psi_1}{L}, \quad (8)$$

где ω — циклическая частота колебаний;
 α — начальная фаза волны.

Рассмотрим алгоритм метода разделения переменных [2, 25] применительно к уравнению (1), представим функцию потенциала акустического поля $\varphi(x, t)$ в виде произведения функций, зависящих только от пространственной переменной x — $X(x)$ и временной переменной t — $T(t)$ соответственно (9):

$$\varphi(x, t) = T(t)X(x). \quad (9)$$

При подстановке уравнения (9) в уравнение (1) получаем уравнение

$$XT'' = c^2 X''T. \quad (10)$$

Из уравнения (10), разделенного на $X(x)T(t)$, следует уравнение

$$\frac{T''}{T} = c^2 \frac{X''}{X} = -\lambda^2. \quad (11)$$

Для функции, зависящей от времени $T(t)$, записывается уравнение

$$T'' = -\lambda^2 T. \quad (12)$$

Для функции, зависящей от пространственной переменной $X(x)$, записывается уравнение

$$X'' = \frac{-\lambda^2}{c^2} X. \quad (13)$$

Уравнение (12) имеет решение

$$T(t) = A_k \cos \lambda_k t + B_k \sin \lambda_k t. \quad (14)$$

Уравнение (13) имеет решение

$$X(x) = C_k \cos \lambda_k x + D_k \sin \lambda_k x. \quad (15)$$

Из уравнений (14) и (15) следует выражение для потенциала акустического поля

$$\begin{aligned} \varphi(x, t) = & A_k C_k \sin \frac{\lambda_k x}{c} \sin \lambda_k t + A_k D_k \sin \lambda_k t \cos \frac{\lambda_k x}{c} + \\ & + B_k C_k \sin \frac{\lambda_k x}{c} \cos \lambda_k t + B_k D_k \cos \frac{\lambda_k x}{c} \lambda_k \cos_k t. \end{aligned} \quad (16)$$

Из уравнения (9) и уравнения (2) следует выражение для скорости движения газа

$$\begin{aligned} u(x, t) = & \frac{\partial \varphi(x, t)}{\partial x} = \frac{A_k C_k \lambda_k}{c} \cos \frac{\lambda_k x}{c} \sin \lambda_k t - \\ & - \frac{A_k D_k}{c} \sin \lambda_k t \sin \frac{\lambda_k x}{c} + \frac{B_k C_k \lambda_k}{c} \cos \frac{\lambda_k x}{c} \cos \lambda_k t - \\ & - \frac{B_k D_k}{c} \sin \frac{\lambda_k x}{c} \lambda_k \cos_k t. \end{aligned} \quad (17)$$

Из уравнения (2) следует выражение для граничного условия, где A — амплитуда хождения поршня

$$u(0, t) = x'(t) = (A \sin(\omega t))' = A \omega \cos(\omega t). \quad (18)$$

На закрытом конце трубы (L — длина канала) для скорости движения газа задается граничное условие

$$u(L, t) = 0. \quad (19)$$

Из граничных условий (18) и (19) и выражения (17) следует выражение для скорости движения газа, удовлетворяющее данным граничным условиям

$$u(x, t) = \frac{B_k C_k \lambda_k}{c} \cos \frac{\lambda_k x}{c} \cos \lambda_k t. \quad (20)$$

Из уравнений (17) и (20) можно отыскивать значения величин B_k, C_k, λ_k

$$\frac{B_k C_k \lambda_k}{c} = A \omega, \quad \lambda_k = \omega, \quad B_k C_k = A c. \quad (21)$$

Из выражений (18) и (19) следует, что частота колебаний $\omega = \pi c / 2L$, таким образом, можно вычислить уравнение для потенциала акустического поля

$$\varphi(x, t) = A \omega \cos \omega t \cos \frac{\omega x}{c}. \quad (22)$$

Выражение для скорости движения газа и выражение для давления газа имеют вид

$$u(x, t) = A \omega \cos \omega t \cos \frac{\omega x}{c}, \quad (23)$$

$$p(x, t) = p_0 - \rho A c \omega \sin \omega t \sin \frac{\omega x}{c}. \quad (24)$$

Для нахождения скорости электрически нейтральной частицы записывается уравнение

$$\frac{\partial u_1}{\partial t} = \frac{a}{m} \left(A \omega \cos \omega t \cos \frac{\omega x}{c} - u_1 \right). \quad (25)$$

Для нахождения скорости электрически заряженной частицы в стационарном электрическом поле (7) записывается выражение

$$\frac{\partial u_1}{\partial t} = \frac{a}{m} \left(A \omega \cos \omega t \cos \frac{\omega x}{c} - u_1 \right) - q_0 \frac{\Psi_2 - \Psi_1}{L}. \quad (26)$$

Для нахождения скорости электрически заряженной частицы в нестационарном электрическом поле (8) записывается выражение

$$\begin{aligned} \frac{\partial u_1}{\partial t} = & \frac{a}{m} \left(A \omega \cos \omega t \cos \frac{\omega x}{c} - u_1 \right) - \\ & - q_0 \cos \omega t \frac{\Psi_2 - \Psi_1}{mL}. \end{aligned} \quad (27)$$

Для обыкновенных дифференциальных уравнений относительно переменной времени (25)–(27) методом Лагранжа [25] получены решения (28)–(30)

$$u_1(x,t) = \frac{Aa\omega}{m} \frac{\sin \omega t \cos \frac{\omega x}{c}}{\omega^2 + a^2} - \frac{Aa^2}{m} \frac{\cos \omega t \cos \frac{\omega x}{c}}{\omega^2 + a^2} + Ce^{-at}; \tag{28}$$

$$u_1(x,t) = \frac{Aa\omega}{m} \frac{\sin \omega t \cos \frac{\omega x}{c}}{\omega^2 + a^2} - \frac{Aa^2}{m} \frac{\cos \omega t \cos \frac{\omega x}{c}}{\omega^2 + a^2} + \frac{\Psi_1 - \Psi_2}{aLm} + Ce^{-at}; \tag{29}$$

$$u_1(x,t) = \frac{Aa\omega}{m} \frac{\sin \omega t \cos \frac{\omega x}{c}}{\omega^2 + a^2} - \frac{Aa^2}{m} \frac{\cos \omega t \cos \frac{\omega x}{c}}{\omega^2 + a^2} + \frac{\Psi_1 - \Psi_2}{Lm} \left(\frac{\omega \sin \omega t + a \cos \omega t}{\omega^2 + a^2} \right) + Ce^{-at}. \tag{30}$$

Динамику частицы, на которую воздействует электрическое поле, действующее в противофазе с акустическим полем описывает уравнение

$$u_1(x,t) = \frac{Aa\omega}{m} \frac{\sin \omega t \cos \frac{\omega x}{c}}{\omega^2 + a^2} - \frac{Aa^2}{m} \frac{\cos \omega t \cos \frac{\omega x}{c}}{\omega^2 + a^2} + \frac{\Psi_1 - \Psi_2}{L} \left(\frac{\omega \sin(\omega t + \pi) + a \cos(\omega t + \pi)}{\omega^2 + a^2} \right) + Ce^{-at}. \tag{31}$$

Траектория частицы, скорость которой описывает уравнение $u_1(x,t)$, определяется выражением

$$s(x,t) = x_0 + \int_0^t u_1(s, \tau) d\tau. \tag{32}$$

Таким образом, для определения траектории частицы можно воспользоваться выражением

$$s(x,t) = x_0 + f(s,t). \tag{33}$$

Например, для частицы, движущейся только под действием акустического поля, уравнение движения имеет вид нелинейного уравнения

$$s(s,t) = \frac{-Aa}{m} \frac{\cos \omega t \cos \frac{\omega s}{c}}{\omega^2 + a^2} - \frac{Aa^2}{\omega m} \frac{\sin \omega t \cos \frac{\omega s}{c}}{\omega^2 + a^2} + x_0. \tag{34}$$

Скорость частицы можно описать приближенным уравнением с точностью $O(\Delta t)$

$$\frac{\partial u_{1i}}{\partial t} \approx \frac{s_{i+1} - s_i}{\Delta t}. \tag{35}$$

Из уравнения (35) получаем приближенное выражение для численного определения траектории частиц, с точностью $O(\Delta t)$ [2]

$$s_{i+1} \approx \Delta t u_{1i}(s_i, i\Delta t) + s_i + O(\Delta t), \tag{36}$$

где $\Delta t = T_0/n$ — шаг по времени, $s_1 = x_0$, $i = 1, \dots, n$.

При моделировании были заданы следующие параметры моделируемого процесса: $L = 1$ м, $d = 0,0001$ м, $q_0 = -0,001$ Кл/кг, $\Psi_1 = -500$ В, $\Psi_2 = 500$ В, $\rho = 1,29$ кг/м³, $\rho_1 = 2700$ кг/м³, $p_0 = 100$ кПа. Кроме того, в работе рассматривались частицы сферической формы — $m = \rho_1 \pi d^3/6$. Начальное положение частицы $x_0 = 0,5$ м, временной период $T_0 = 1$ с, число шагов по времени $n = 1000$.

На рис. 1 схематически изображен закрытый канал с движущейся в нем частицей. К противоположным концам канала приложены электрические потенциалы, в правой части канала колеблется поршень.

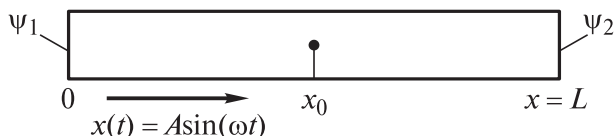


Рис. 1. Общая схема моделируемого процесса
Fig. 1. General scheme of the simulated process

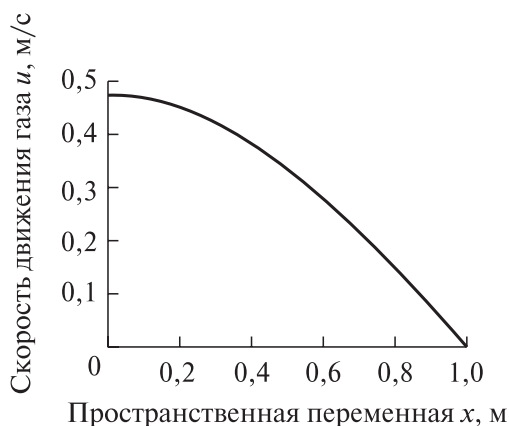


Рис. 2. Пространственное распределение скорости газа в момент времени $t = 0,1$ с
Fig. 2. Spatial distribution of gas velocity at time $t = 0,1$ с

На рис. 2 представлено пространственное распределение скорости газа, на левой границе моделируемой области скорость газа равна нулю, в соответствии с граничным условием (19). На левой границе в аналогичный момент времени ($t = 0,1$ с) наблюдается наибольшее значение давления газа (рис. 3).

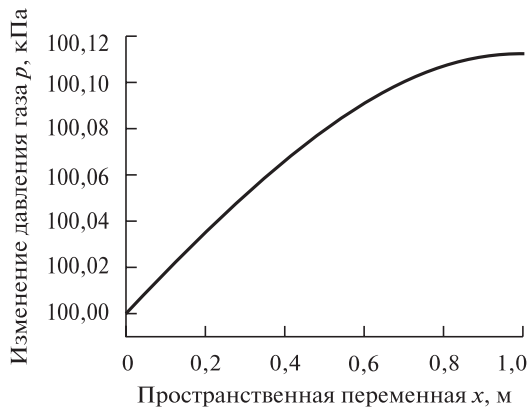


Рис. 3. Пространственное распределение давления газа, в момент времени $t = 0,1$ с

Fig. 3. Spatial distribution of gas pressure, at time $t = 0,1$ s

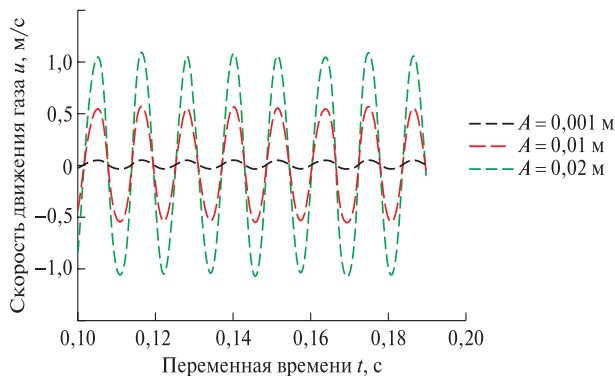


Рис. 4. Зависимость скорости газа от амплитуды хождения поршня

Fig. 4. Dependence of the gas velocity on the amplitude of the piston stroke

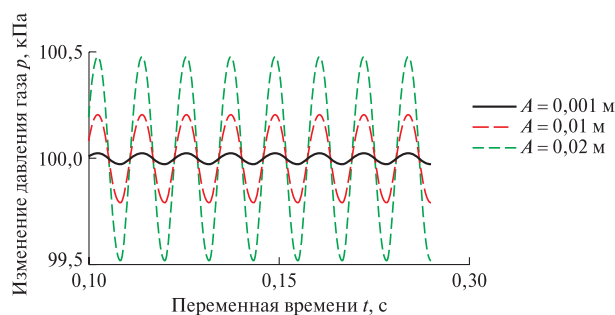


Рис. 5. Зависимость давления газа от времени, для различных амплитуд хождения поршня

Fig. 5. Dependence of gas pressure on time, for various piston stroke amplitudes

В представленной модели величины скорости движения газа в акустическом поле (23) и величины изменения давления газа (24) прямо пропорциональны амплитуде хождения поршня (рис. 4, 5).

Скорость частицы отличается от скорости движения газа и при амплитуде хождения поршня $A = 0,001$ м, амплитуда изменения скорости движения

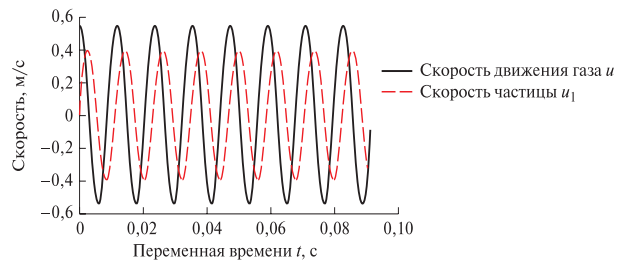


Рис. 6. Зависимости от времени скорости движения газа и скорости частицы — сплошной и пунктирной линией соответственно, при амплитуде $A = 0,001$ м

Fig. 6. Dependences on time of the gas velocity and particle velocity — solid and dotted lines, respectively, at amplitude $A = 0,001$ m

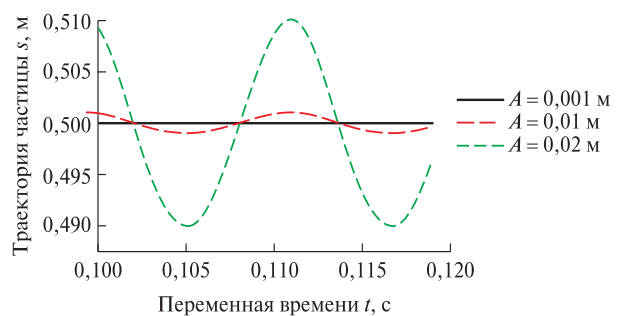


Рис. 7. Зависимость положения электрически нейтральной частицы от времени для различных амплитуд хождения поршня

Fig. 7. Dependence of the position of an electrically neutral particle on time for various piston stroke amplitudes

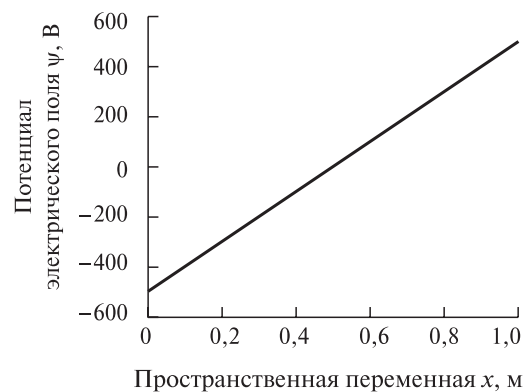


Рис. 8. Пространственное распределение потенциала электрического поля при стационарном распределении потенциала

Fig. 8. Spatial distribution of the electric field potential for a stationary potential distribution

электрически нейтральной частицы составляет 71 % амплитуды изменения скорости газа (рис. 6).

При различных амплитудах хождения поршня электрически нейтральная частица циклически перемещается вблизи точки начального положения (рис. 7).

В расчетах рассматривались два вида распределения одномерного потенциала электрического

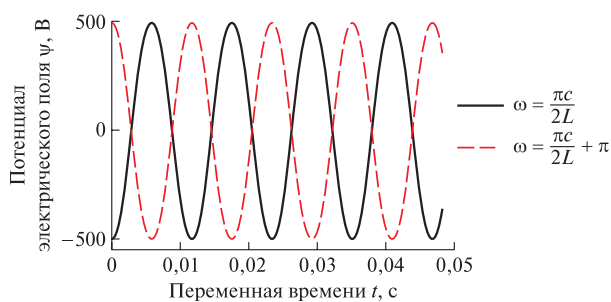


Рис. 9. Зависимость потенциала электрического поля от времени при нестационарном распределении потенциала

Fig. 9. Dependence of the electric field potential on time for a nonstationary potential distribution

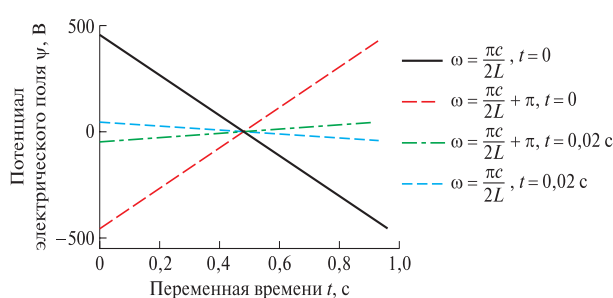


Рис. 10. Пространственное распределение потенциала электрического поля при нестационарном электрическом поле

Fig. 10. Spatial distribution of the electric field potential in a nonstationary electric field

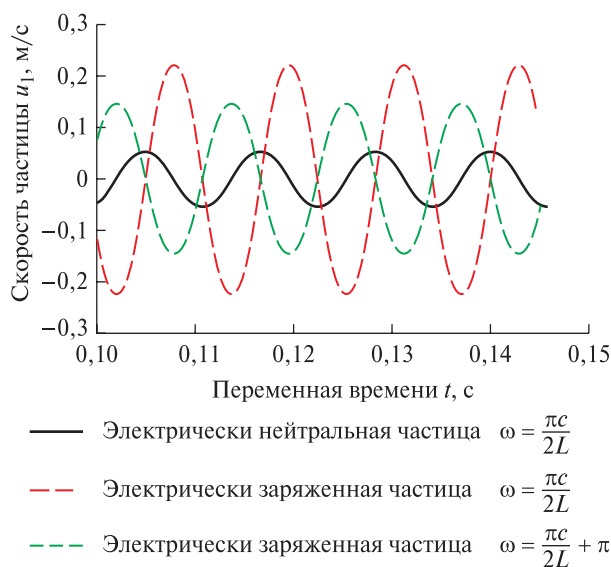


Рис. 11. Зависимость скорости частицы от времени при удельном заряде частицы $q = -0,01$ Кл/кг и амплитуде хождения поршня $A = 0,0001$ м

Fig. 11. Dependence of the particle velocity on time with a specific particle charge $q = -0,01$ Кл/кг and a piston stroke amplitude $A = 0,0001$ м

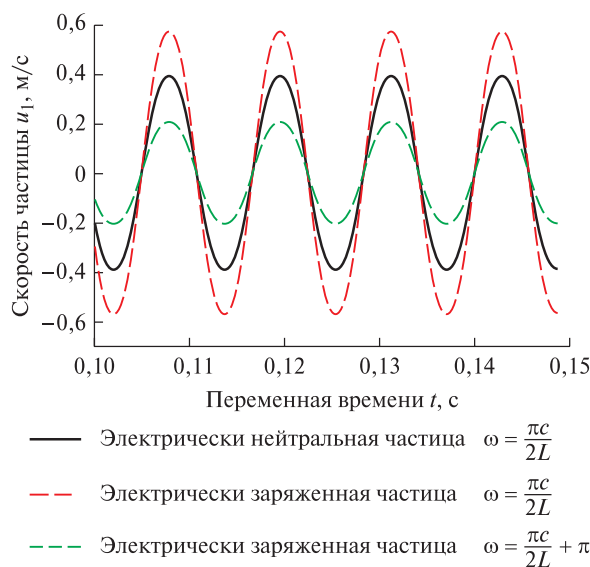


Рис. 12. Зависимость скорости частицы от времени, при удельном заряде частицы $q = -0,001$ Кл/кг и амплитуде хождения поршня $A = 0,001$ м

Fig. 12. Dependence of particle velocity on time, with particle specific charge $q = -0,001$ Кл/кг and piston stroke amplitude $A = 0,001$ м

поля — стационарный потенциал, описываемый уравнением (7) (рис. 8), и нестационарное распределение потенциала электрического поля, описываемое уравнением (8). В этом случае возможно рассмотрение циклических потенциалов электрического поля, находящихся в противофазе (рис. 9, 10).

В случае колебания частиц с малой амплитудой хождения поршня — $A = 0,0001$ м и большим удельным зарядом материала частиц $q_0 = -0,001$ Кл/кг интенсивность колебаний электрически заряженных частиц выше, чем интенсивность колебаний электрически нейтральной частицы, при этом частицы, движущиеся в противофазе относительно колебаний несущей среды, имеют меньшую амплитуду изменения скорости (рис. 11).

При амплитуде хождения поршня $A = 0,001$ м амплитуда изменения скорости электрически нейтральной частицы имеет большее значение, чем амплитуда изменения скорости электрически заряженной частицы, движущейся в противофазе движению газа (рис. 12). Наибольшее значение имеет скорость движения электрически заряженной частицы при частоте изменения переменного электрического поля, синфазной акустическому полю. В случае переменного электрического поля электрически заряженная частица, как и нейтральная частица, колеблется вблизи своего изначального положения.

Если потенциал электрического поля задается стационарным распределением, то скорость частицы имеет осцилляции (рис. 13), связанные с тем, что распределение скорости относительно

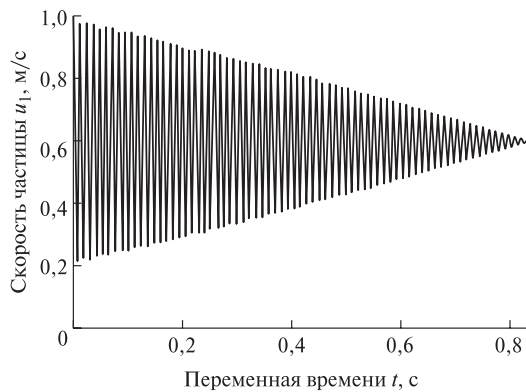


Рис. 13. Зависимость скорости частицы от времени при удельном заряде частицы при стационарном потенциале электрического поля

Fig. 13. Dependence of the particle velocity on time for the specific charge of the particle at a stationary potential of the electric field

пространственной координаты описывается функцией косинуса и по мере приближения частицы к левой границе канала значение тригонометрической составляющей в выражении для скорости частицы (27) стремится к нулю. При этом электрически заряженная частица движется к электроду с противоположным потенциалом, на котором через некоторое время осаждается (рис. 14).

В монографии [10] представлены линеаризованные модели динамики газокапельных сред, для линеаризованных моделей получены точные решения с учетом различных сил взаимодействия частиц и газа в акустических волнах. В монографии [13] разработаны аналитические решения для динамики частиц в акустических полях при различных режимах колебаний газа и в акустических резонаторах различной формы, исследовано влияние различных сил на динамику частиц в движущемся газе. Тем не менее в указанных исследованиях не рассматривались эффекты влияния электрического поля на динамику частицы. В работе [20] приоритетным полагалось исследование электрофизических процессов, без учета акустических эффектов динамики газа. В данной работе были проведены расчеты динамики частицы с учетом акустических и электрических сил, определено, что в зависимости от размера частицы влияние электрического поля может быть более существенным, чем влияние механических сил.

Выводы

Таким образом, актуальным является проведение исследования динамики дисперсного включения, в котором учитывалось бы как влияние электрического поля, так и межкомпонентный обмен импульсом между газом и частицей. Получено точное решение совокупности уравнений, описывающих динамику электрически заряжен-



Рис. 14. Зависимость пространственного расположения частицы при стационарном распределении электрического поля

Fig. 14. Dependence of the spatial arrangement of a particle with a stationary distribution of the electric field

ной частицы в акустическом поле. Рассмотрено влияние постоянного и периодического воздействия электрического поля на динамику частицы. Обнаружено, что под воздействием постоянного электрического поля происходит дрейф частицы и осаждение на электрод. Под действием периодического электрического поля с частотой, синфазной частоте колебаний акустического поля, происходит увеличение интенсивности колебаний частицы. Под действием периодического электрического поля в противофазе акустическому воздействию происходит уменьшение интенсивности колебаний частицы. Результаты расчетов возможно применить при оптимизации конструкции устройств электрической фильтрации пыльных и газокапельных сред.

Работа выполнена в рамках государственного задания Федерального исследовательского центра Казанского научного центра Российской академии наук.

Список литературы

- [1] Ландау Л.Д., Лифшиц Е.В. Теоретическая физика. Гидродинамика. Москва: Наука, 1986. 736 с.
- [2] Флетчер К. Вычислительные методы в динамике жидкостей: В 2-х т. Т. 1. М.: Мир, 1991. 504 с.
- [3] Герлиман Е.М., Сахин В.В., Тетерина И.В. Модель слоистого течения при решении задач внутренней газодинамики камеры сгорания топлива // Системный анализ и аналитика, 2020. № 1. С. 5–11
- [4] Соломахин Ю.В., Цыганкова Л.П., Невская И.В., Фершалов А.Ю. Потери кинетической энергии потока газа на краях активных дуг осевых малорасходных турбин // Морские интеллектуальные технологии, 2020. № 2–1. С. 98–101.
- [5] Быковских Д.А., Галкин В.А. Об адиабатическом сжатии идеального бесстолкновительного газа в одномерном пространстве // Успехи кибернетики, 2020. № 4. С. 6–12.

- [6] Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. М.: Физматлит, 2005. 656 с.
- [7] Кладько С.В., Полуэктов Н.П., Усатов И.И. Влияние магнитного поля на характеристики плазмы в магнетронном разряде с полым катодом // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 5. С. 125–130. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-5-125-130
- [8] Пуринг С.М., Ватузов Д.Н. Модернизация аппаратов очистки воздуха от твердых высокодисперсных аэрозолей // Градостроительство и архитектура, 2020. Т. 10. № 2 (39). С. 16–21.
- [9] Нигматуллин Р.И. Основы механики гетерогенных сред. М.: Наука, 1978. 336 с.
- [10] Губайдуллин Д.А. Динамика двухфазных парогазокапельных сред. Казань: Изд-во Казанского математического общества, 1998. 153с.
- [11] Кутушев А.Г. Математическое моделирование волновых процессов в аэродисперсных и порошкообразных средах. СПб.: Недра, 2003. 283 с.
- [12] Федоров А.В., Фомин В.М., Хмель Т.А. Волновые процессы в газозвесьях частиц металлов. Новосибирск: Параллель, 2015. 305 с.
- [13] Губайдуллин Д.А., Осипов П.П. Аэрогидродинамика дисперсной частицы. М.: Физматлит, 2020, 176 с.
- [14] Тукмаков А.Л. Распределение твердых частиц в акустическом поле резонансной трубы при различных режимах возбуждения колебаний // Теплофизика и аэромеханика, 2005. № 2. С. 219–227.
- [15] Тукмаков Д.А., Тукмакова Н.А. Методика численного исследования отражения ударной волны от твердой поверхности в запыленной среде // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. Системный анализ и информационные технологии, 2019. № 4. С. 47–54.
- [16] Тукмаков Д.А. Численное исследование влияния параметров дисперсной фазы на генерацию течения газа, формирующегося при гравитационном осаждении аэрозоля // Вычислительная механика сплошных сред, 2020. Т. 13. № 3. С. 279–287.
- [17] Тукмаков Д.А. Численная модель течения аэрозоля, обусловленного взаимодействием частиц и газа // Сложные системы, 2021. № 1. С. 64–71.
- [18] Тукмаков А.Л., Тукмаков Д.А. Генерация акустического возмущения движущейся заряженной газозвесью // Инженерно-физический журнал, 2018. № 5. С. 1207–1213.
- [19] Тукмаков Д.А., Ахунов А.А. Численное исследование влияния электрического заряда дисперсной фазы на распространение ударной волны из чистого газа в запыленную среду // Известия Саратовского университета. Новая серия. Сер. Физика, 2020. Т. 20. № 3. С. 183–192.
- [20] Семенов В.П., Тимофеев А.В. Параметрический резонанс и перенос энергии в пылевой плазме // Математическое моделирование, 2018. Т. 30. № 2. С. 3–17.
- [21] Tadaa Y., Yoshioka S., Takimoto A., Hayashi Y. Heat transfer enhancement in a gas–solid suspension flow by applying electric field // International J. of Heat and Mass Transfer, 2016, v. 93, pp. 778–787.
- [22] Paul A., Mandal G., Amin M.R., Chatterjee P. Анализ решения модифицированного уравнения КДВ с затуханием для пылевой ионно-звуковой волны в присутствии сверхтепловых электронов // Физика плазмы, 2020. Т. 46. № 1. С. 90–96.
- [23] Чекалов Л.В., Гузаев В.А., Смирнов М.Е. Повышение эффективности электрофильтров тепловых электростанций путем совершенствования осадительных электродов // Электрические станции, 2021. № 7. С. 48–54.
- [24] Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. М.: Наука, 1977. 736 с.
- [25] Имас О.Н., Пахомова Е.Г., Рожкова С.В., Устинова И.Г. Лекции по дифференциальным уравнениям. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. 193 с.

Сведения об авторе

Тукмаков Дмитрий Алексеевич — канд. физ.-мат. наук, науч. сотр. лаборатории механики сплошных сред ИММ ФИЦ КазНЦ РАН, tukmakovda@imm.knc.ru

Поступила в редакцию 15.04.2022.

Одобрено после рецензирования 11.07.2022.

Принята к публикации 15.08.2022.

ANALYTICAL MODEL OF ONE-DIMENSIONAL NONSTATIONARY DYNAMICS OF SINGLE PARTICLE IN ACOUSTIC AND ELECTRIC FIELDS

D.A. Tukmakov

Federal Research Center Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 2/31, Lobachevskogo st., 420111, Kazan, Tatarstan, Russia

tukmakovda@imm.knc.ru

This paper presents the results of calculations of the dynamics of an electrically neutral and electrically charged particle in a closed channel. A mathematical model of the dynamics of a single particle in an acoustic field is presented, in which the potential of the acoustic field is given by a one-dimensional linear wave equation. The dynamics of the particle was described by a differential equation that puts the dependence of the particle velocity on the forces applied to it - the Stokes force acting from the side of the acoustic field, and the Coulomb force acting from the side of the electric field. It is revealed that the amplitude of oscillations of an electrically neutral particle is less than the amplitude of oscillations of an electrically charged particle in an electric field. It is determined that at a small amplitude of the piston oscillations, the amplitude of the change in the speed of an electrically charged particle under the action of electric field forces exceeds the amplitude of the change in the speed of an electrically neutral particle. In this paper, we analyzed the influence on the dynamics of an electrically charged particle in an acoustic field for stationary and nonstationary distributions of the electric field potential. The paper presents calculations of the dynamics of an electrically charged particle in a periodic electric field with different frequencies of electric field variation. It was found that when a particle is exposed to an alternating electric field that is in phase with the gas velocity field, the particle velocity increases, if the frequency of the alternating electric field is in antiphase with the gas velocity, then the particle velocity decreases. It is determined that if a stationary electric field acts on a particle, then the particle drifts to that part of the channel to which a potential is applied, the sign of which is opposite to the sign of the particle charge.

Keywords: mathematical modeling, dynamics of multiphase media, wave equation

Suggested citation: Tukmakov D.A. *Analiticheskaya model' odnomernoy nestatsionarnoy dinamiki odinochnoy chastitsy v akusticheskom i elektricheskom polyakh* [Analytical model of one-dimensional nonstationary dynamics of single particle in acoustic and electric fields]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 5, pp. 135–144. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-5-135-144

References

- [1] Landau L.D., Lifshits E.V. *Teoreticheskaya fizika. Gidrodinamika*. [Theoretical physics. Hydrodynamics]. Moscow: Nauka, 1986, 736 p.
- [2] Fletcher C.A. *Computation Techniques for Fluid Dynamics*. Berlin: Springer-Verlag Publ., 1988, 502 p.
- [3] Gerliman E.M., Sakhin V.V., Teterina I.V. *Model' sloistogo techeniya pri reshenii zadach vnutrenney gazodinamiki kamery sgoraniya topliva* [Layered flow model in solving problems of internal gas dynamics of the fuel combustion chamber]. *Sistemnyy analiz i analitika* [System analysis and analytics], 2020, no. 1, pp. 5–11.
- [4] Solomakhin Yu.V., Tsygankova L.P., Nevskaya I.V., Fershalov A.Yu. *Poteri kineticheskoy energii potoka gaza na krayakh aktivnykh dug osevykh malorashodnykh turbin* [Losses of the kinetic energy of the gas flow at the edges of the active arcs of axial low-flow turbines]. *Morskie intellektual'nye tekhnologii* [Marine Intelligent Technologies], 2020, no. 2–1, pp. 98–101.
- [5] Bykovskikh D.A., Galkin V.A. *Ob adiabaticheskoy szhatii ideal'nogo besstolknovitel'nogo gaza v odnomernom prostranstve* [On adiabatic compression of an ideal collisionless gas in one-dimensional space]. *Uspekhi kibernetiki* [Advances in cybernetics], 2020, no. 4, pp. 6–12.
- [6] Landau L.D., Lifshits E.M. *Elektrodinamika splushnykh sred* [Electrodynamics of continuous media]. Moscow: Fizmatlit, 2005, 656 p.
- [7] Klado S.V., Poluektov N.P., Usatov I.I. *Vliyaniye magnitnogo polya na kharakteristiki plazmy v magnetronnom razryade s polym katodom* [Effect of magnetic field on plasma characteristics in magnetron discharge with hollow cathode]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 5, pp. 125–130. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-5-125-130
- [8] Puring S.M., Vatzov D.N. *Modernizatsiya apparatov ochistki vozdukhа ot tverdykh vysokodispersnykh aerezoley* [Modernization of devices for air purification from solid highly dispersed aerosols]. *Gradostroitel'stvo i arkhitektura* [Urban planning and architecture], 2020, no. 2, pp. 16–21.
- [9] Nigmatulin R.I. *Osnovy mekhaniki geterogennykh sred* [Fundamentals of mechanics of heterogeneous media]. Moscow: Nauka, 1978, 336 p.
- [10] Gubaidullin D. A. *Dinamika dvuhfaznykh parogazokapel'nykh sred* [Dynamics of two-phase vapor-gas-drop media]. Kazan: Izd-vo Kazanskogo matematicheskogo obshchestva [Publishing House of the Kazan Mathematical Society], 1998, 153 p.
- [11] Kutushev A.G. *Matematicheskoe modelirovaniye volnovykh processov v aerodispersnykh i poroshkoobraznykh sredakh* [Mathematical modeling of wave processes in aerodisperse and powder media]. St. Petersburg: Nedra, 2003, 284 p.
- [12] Fedorov A.V., Fomin V.M., Khmel T.A. *Volnovye processy v gazovzvesyakh chastic metallov* [Wave processes in gas suspensions of metal particles]. Novosibirsk: Parallel', 2015, 301 p.
- [13] Gubaidullin D.A., Osipov P.P. *Aerogidrodinamika dispersnoy chastitsy* [Aerohydrodynamics of dispersed particles]. Moscow: Fizmatlit, 2020, 176 p.
- [14] Tukmakov A.L. *Raspredeleniye tverdykh chastits v akusticheskom pole rezonansnoy trubyy pri razlichnykh rezhimakh vzbuzhdeniya kolebaniy* [Distribution of solid particles in the acoustic field of a resonant tube under different modes of oscillation excitation]. *Teplotfizika i aeromekhanika* [Thermophysics and Aeromechanics], 2005, no. 2, pp. 219–227.

- [15] Tukmakov D.A., Tukmakova N.A. *Metodika chislennogo issledovaniya otrazheniya udarnoy volny ot tverдой poverkhnosti v zapylonnoy srede* [Method of numerical study of the reflection of a shock wave from a solid surface in a dusty environment]. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Sistemnyy analiz i informatsionnye tekhnologii [Bulletin of the Voronezh State University, Series of system analysis and information technologies], 2019, no. 4, pp. 47–54.
- [16] Tukmakov D.A. *Chislennoe issledovanie vliyaniya parametrov dispersnoy fazy na generatsiyu techeniya gaza, formiruyushchegosya pri gravitatsionnom osazhdenii aerorozolya* [Numerical study of the influence of the parameters of the dispersed phase on the generation of a gas flow formed during the gravitational settling of an aerosol]. Vychislitel'naya mekhanika sploshnykh sred [Computational Continuum Mechanics], 2020, no. 3, pp. 279–287.
- [17] Tukmakov D.A. *Chislennaya model' techeniya aerorozolya, obuslovlennogo vzaimodeystviem chastits i gaza* [Numerical model of aerosol flow due to the interaction of particles and gas]. Slozhnye sistemy [Complex systems], 2021, no. 1, pp. 64–71.
- [18] Tukmakov A.L., Tukmakov D.A. *Generatsiya akusticheskogo vozmushcheniya dvizhushcheysya zaryazhennoy gazovzves'yu* [Generation of acoustic disturbances by a moving charged gas suspension]. Inzhenerno-fizicheskiy zhurnal [J. of Engineering Physics and Thermophysics], 2018, no. 5, pp. 1141–1147.
- [19] Tukmakov D.A., Akhunov A.A. *Chislennoe issledovanie vliyaniya elektricheskogo zaryada dispersnoy fazy na rasprostranenie udarnoy volny iz chistogo gaza v zapylennuyu sredu* [Numerical study of the influence of the electric charge of the dispersed phase on the propagation of a shock wave from a pure gas into a dusty medium]. Izvestiya Saratovskogo universitetata. Novaya seriya. Ser. Fizika [News of Saratov University. A new series. Physics series], 2020, no. 3, pp. 183–192.
- [20] Semenov V.P., Timofeev A.V. *Parametricheskyy rezonans i perenos energii v pyl'evoy plazme* [Parametric resonance and energy transfer in dusty plasma]. Matematicheskoe modelirovanie [Mathematical Models and Computer Simulations], 2018, no. 5, pp. 539–550.
- [21] Tadaa Y., Yoshioka S., Takimoto A., Hayashi Y. Heat transfer enhancement in a gas–solid suspension flow by applying electric field. International J. of Heat and Mass Transfer, 2016, v. 93, pp. 778–787.
- [22] Paul A., Mandal G., Amin M.R., Chatterjee P. *Analiz resheniya modifitsirovannogo uravneniya KDV s zatukhaniem dlya pyl'evoy ionno-zvukovoy volny v prisutstvii sverkhteplovykh elektronov* [Analysis of solution of damped modified-KDV equation on dust-ion-acoustic wave in presence of superthermal electrons]. Fizika plazmy [Plasma Physics Reports], 2020, no. 1, pp. 83–89.
- [23] Chekalov L.V., Guzaev V.A., Smirnov M.E. *Povyshenie effektivnosti elektrofiltrov teplovykh elektrostantsiy putem sovershenstvovaniya osaditel'nykh elektrodov* [Improving the efficiency of electrostatic precipitators of thermal power plants by improving the collection electrodes]. Elektricheskie stantsii [Electric Stations], 2021, no. 7, pp. 48–54.
- [24] Tikhonov A.N., Samarskiy A.A. *Uravneniya matematicheskoy fiziki* [Equations of mathematical physics]. Moscow: Nauka, 1977, 736 p.
- [25] Imas O.N., Pakhomova E.G., Rozhkova S.V., Ustinova I.G. *Leksii po differentsial'nym uravneniyam* [Lectures on differential equations]. Tomsk: Izd-vo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta [Publishing House of the Tomsk Polytechnic University], 2012, 193 p.

The work was carried out within the framework of the state assignment of the Federal Research Center of the Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences.

Author's information

Tukmakov Dmitriy Alekseevich — Cand. Sci. (Phys.-Math.), Researcher, Laboratory of Continuum Mechanics IMM FRC KazSC RAS, tukmakovda@imm.knc.ru

Received 15.04.2022.

Approved after review 11.07.2022.

Accepted for publication 15.08.2022.

СЕРТИФИКАЦИЯ ПРОГРАММНОГО И ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Е.Г. Комаров¹, В.В. Лозовецкий^{1✉}, В.В. Лебедев², А.В. Архипенко³

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

²РТУ — МИРЭА, 107996, Москва, ул. Стромьинка, д. 20

³Сочинский международный инновационный университет, 354000, г. Сочи, ул. Орджоникидзе, д. 10а

lozovetsky@mail.ru

Рассмотрены способы, методы и средства для проведения сертификации программного и программно-аппаратного обеспечения в информационных системах в целях выбора подходов и инструментария для работы в нестандартных ситуациях в условиях постоянно изменяющейся нормативно-методической базы и возможных угроз их информационной безопасности. Представлены рекомендации к сертификационным испытаниям с использованием инструментария собственной разработки, который позволяет выделить основные параметры, необходимые для сборки программного обеспечения и его исследования, и провести синтаксический анализ программного обеспечения, написанного на различных языках программирования. На основе программы испытаний и проверок объекта оценки в соответствии с требованиями безопасности информации в условиях определенного уровня контроля предложены методы проведения сертификационных исследований, показаны преимущества методики с использованием имевшегося в распоряжении и рекомендуемого инструментария. В целях экономии указаны некоторые известные бесплатные и свободно распространяемые средства, а также эффективные и недорогие программные продукты.

Ключевые слова: сертификация, нормативно-методическая база, инструментарий, объект оценки, анализ угроз, информационная безопасность, программное обеспечение, язык программирования, экспериментальный стенд

Ссылка для цитирования: Комаров Е.Г., Лозовецкий В.В., Лебедев В.В., Архипенко А.В. Сертификация программного и программно-аппаратного обеспечения транспортных информационных систем в соответствии с требованиями безопасности // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 5. С. 145–157.
DOI: 10.18698/2542-1468-2022-5-145-157

Вопросы сертификации продуктов и систем информационных технологий актуальны, в частности, для управления транспортом, а также имеют важное значение как для народного хозяйства в целом, так и для оборонного комплекса страны.

Известно, что в РФ не создается в широких масштабах программное и программно-аппаратное обеспечение для известных продуктов информационных технологий (ИТ), в частности, распространенное общесистемное программное обеспечение (ПО), используемое в мобильных телефонах, в компьютерах и в других средствах вычислительной техники. Необходимость такой продукции возрастает для РФ в геометрической прогрессии.

Наилучшим выходом из сложившейся ситуации является сертификация закупленных, а также отечественных продуктов ИТ с учетом требований безопасности информации. Это позволило бы разрешить проблемы, которые появляются при сертификации продуктов и систем ИТ. В первую очередь такие проблемы связаны с трудоемкостью испытаний программного и программно-аппаратного обеспечения при сертификации.

Иногда сертификации затягиваются до полугода и более, что часто напрямую не связано с квалификацией экспертов, а зависит непосредственно от объемов задач, стоящих перед специалистами по испытаниям такой продукции.

Сертифицируемые операционные системы (ОС) могут содержать миллионы исходных текстов программ. В частности, некоторые версии дистрибутивов Linux SUSE собраны почти из 3 млн исходных текстов программ, и тогда эксперту в течение рабочего дня необходимо исследовать около 1000 исходных текстов, для завершения работы за год. Необходимо также исследовать и другие типы файлов в ОС, например, бинарные файлы, которых в ОС может быть десятки тысяч.

Материалы и методы

Выход из описанной выше ситуации только один — автоматизация труда эксперта и их заблаговременное предвидение. В работе предлагаются эффективные методы сертификации, основанные, как на западных, так называемых, «Общих критериях», так и на отечественных критериях, учитывающих Общие критерии и возможность моделирования информационных потоков в продуктах и системах ИТ. Такой подход основан, в том числе, на методологии IDEF по информа-

ционному моделированию бизнес-процессов, и отличается от традиционных как наглядностью, так и высокой технологичностью, возможностью отследить движение информации в любой реализации информационных технологий с учетом предъявляемых к ним требованиям безопасности информации.

Проблему оценки эффективности защиты информации в системах ИТ предлагается решить с помощью модели оценки эффективности защиты информации в системе в условиях воздействия на нее средств реализации угроз безопасности информации. Использование такой модели на практике поможет определить набор методов и средств защиты информации, наиболее целесообразных по критерию эффективности — стоимость для конкретной системы.

Общие положения при сертификации с учетом требований безопасности информации.

Одним из основных документов, описывающих понятия и способы определения соответствия различных продуктов, в том числе продуктов информационных технологий, необходимым требованиям, является Федеральный закон от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании». В этом законе определены понятия аттестации, сертификации и декларации соответствия. В руководящих документах Федеральной службы по техническому и экспортному контролю (ФСТЭК) России нет регламента по декларации соответствия системы защиты информации (СЗИ) требованиям безопасности информации, но существует регламент на аттестацию и сертификацию.

Для осуществления сертификации СЗИ по требованиям безопасности информации в ФСТЭК России разработано и используется «Положение о сертификации средств защиты информации по требованиям безопасности информации» от 27 октября 1995 г. №199, в соответствии с которым осуществляются различные типы сертификации: сертификация программного текста ПО на отсутствие не декларированных возможностей, сертификация программного или программно-аппаратного СЗИ на соответствие определенным показателям защищенности. Такими СЗИ могут быть межсетевые экраны или другие средства вычислительной техники. Сравнительно недавно стала входить в силу сертификация по так называемым Общим критериям (ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408). Тенденции сертификации по линии ФСТЭК говорят о том, что в скором времени большая часть сертификации будет осуществляться по Общим критериям. Многие типы СЗИ уже сертифицируются (если речь идет не о сертификации на отсутствие не декларированных возможностей) по Общим критериям, например электронные замки, антивиру-

сы, системы обнаружения вторжений. Остались еще отдельные руководящие документы ФСТЭК России, например, руководящие документы (РД), регламентирующие сертификацию не по Общим критериям, а по межсетевым экранам, однако тенденция развития подходов к сертификации указывает на то, что вскоре подобные РД будут переведены на методологию Общих критериев.

Рассмотрим более подробно отдельные документы ФСТЭК РФ, регламентирующие процессы сертификации, среди которых основным является «Положение о сертификации средств защиты информации по требованиям безопасности информации» от 27 октября 1995 г. № 199. Данное положение устанавливает организационную структуру сертификации средств защиты информации с учетом требований безопасности информации, функции субъектов сертификации, порядок сертификации, государственного контроля и надзора, инспекционного за соблюдением правил обязательной сертификации и за сертифицированными средствами защиты информации, общие требования к нормативным и методическим документам по сертификации средств защиты информации. В приложениях к данному положению приведены перечень средств защиты информации, подлежащих сертификации в системе сертификации, формы заявок на проведение сертификации и продление срока действия сертификата, решения по заявке на проведение сертификации (продлению срока действия сертификата), сертификата и лицензии на применение знака соответствия.

Положение было разработано в соответствии со следующими основными документами:

– Законом Российской Федерации от 10 июня 1993 г. № 5151-1 «О сертификации продукции и услуг» с изменениями и дополнениями;

– Собранием законодательных актов Российской Федерации, 1996, № 1, ст. 4; 1998, № 10, ст. 1143; 1998, № 31, ст. 3832);

– Законом Российской Федерации от 21 июля 1993 г. № 5485-1 «О государственной тайне» с изменениями и дополнениями;

– Федеральным законом от 20 февраля 1995 г. № 24-ФЗ «Об информации, информатизации и защите информации»;

– Законом Российской Федерации от 7 февраля 1992 г. № 2300/1-1 «О защите прав потребителей»;

– Федеральным законом «Об участии в международном информационном обмене» от 4 июля 1996 г. № 85-ФЗ;

– Постановлением Правительства Российской Федерации от 26 июня 1995 г. № 608 «О сертификации средств защиты информации» с изменениями и дополнениями, внесенными на основании Правил по проведению сертификации в Российской Федерации, утвержденных Постановлением

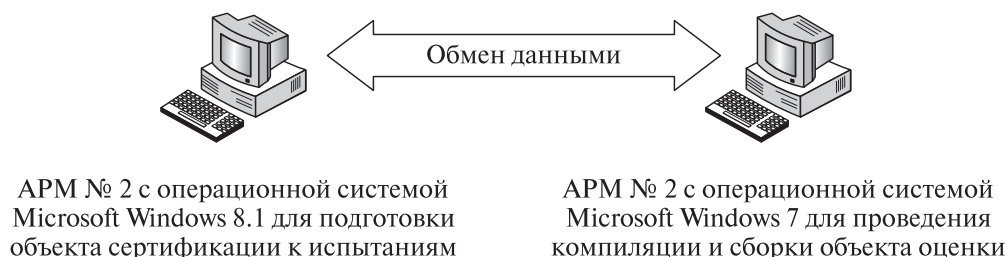


Рис. 1. Испытательный стенд: АРМ — автоматизированное рабочее место
Fig. 1. Test bench: AWP — workstation

Госстандарта России от 16 февраля 1994 г., № 3 и зарегистрированных в Министерстве юстиции Российской Федерации 21 марта 1994 г., регистрационный номер 521 (Российские вести, от 30 марта 1994 г., № 56), и Порядка проведения сертификации продукции в Российской Федерации, утвержденного Постановлением Госстандарта России от 21 сентября 1994 г. № 15 и зарегистрированного в Министерстве юстиции Российской Федерации 5 апреля 1995 г., регистрационный номер 826 (Российские вести, от 1 июня 1995 г., № 100).

Отбор образцов продукции на сертификацию. Существует два основных типа отбора образца продукции на сертификацию. Эти типы связаны с процессом получения эталонных образцов продукции, необходимых для сертификации. Эталонный образец программного обеспечения — это дистрибутив ПО, который будет считаться сертифицированным после положительных сертификационных испытаний. Эталонный образец ПО можно получить в процессе сертификационных испытаний после контрольной сборки этого эталонного дистрибутива из представленных на испытания исходных текстов ПО (это первый тип отбора образца). Полученный таким образом дистрибутив отбирается на дальнейшие испытания в соответствии с Актом отбора образца, подписываемым аккредитованной испытательной лабораторией и разработчиком сертифицируемой продукции либо заявителем на данную сертификацию [1–3].

При первом типе отбора составляется Акт о проведении контрольной сборки эталонного дистрибутива ПО, свидетельствующий, что разработчик или заявитель соглашаются с тем, что эталонный образец будет собираться во время сертификационных испытаний, а также, что сборка проходит в присутствии представителя разработчика или заявителя.

Второй тип отбора связан с получением на основании Акта отбора образца собранного ранее разработчиком эталонного образца. Такой Акт отбора образца подписывается аккредитованной испытательной лабораторией и разработчиком сертифицируемой продукции либо заявителем на данную сертификацию. Причина такого отбора может быть различной, но, как правило, она связана с тем, что

либо собранный для испытаний стенд не позволяет собрать дистрибутив в приемлемые сроки, либо для сбора дистрибутива требуются дополнительные проверки, которые испытательный стенд не может провести по каким-либо причинам [4].

Второй тип отбора сопряжен в последующих испытаниях со значительными трудностями, поскольку требуются доказательства, что собранный заново в процессе испытаний дистрибутив идентичен по функциональности с эталонным дистрибутивом. Эти доказательства привести нелегко, ведь необходимо доказать, что при новой сборке не было привнесено в ПО чего-либо, что может нарушить безопасность ПО. По этой причине при сертификации рекомендуется использовать (по возможности) первый тип отбора.

С файлов сертифицируемого ПО в процессе отбора образца снимаются контрольные суммы с использованием сертифицированных средств расчета контрольных сумм. Например, может использоваться программа фиксации и контроля исходного состояния программного комплекса «ФИКС» версия 2.0.2 (далее — ФИКС), имеющая сертификат соответствия № 1548 от 15 января 2008 г.

На рис. 1 приведен простейший вариант испытательного стенда для проведения сертификации, который отвечает требованиям, предъявляемым к исследованию объекта сертификации на не декларированные возможности. Для компиляции и сборки (как правило) достаточно одного компьютера (на стенде АРМ № 1), второй компьютер (АРМ № 2) используется как вспомогательный.

В процессе испытаний необходимо осуществить следующие проверки:

- работоспособности всех устройств, используемых во время испытаний;
- работоспособности операционных систем (например, операционных систем Windows 7 и Windows 8.1, как показано на рис. 1), используемых на испытательном стенде;
- соответствия фактического состава программно-аппаратной среды стенда требованиям к эксплуатации объекта сертификации;
- достаточности программно-аппаратной среды стенда для проведения сертификационных испытаний.

На стенде, как правило, устанавливаются и проверяются следующие программные средства:

1) программа фиксации и контроля исходного состояния программного комплекса ФИКС или другое сертифицированное средство для подсчета контрольных сумм файлов ПО;

2) средства разработки ПО КПИМ: Microsoft Visual Studio версии: Microsoft Visual Studio для языков программирования Microsoft Visual Studio — С, С++ или другое необходимое средство для компиляции и сборки;

3) анализаторы исходных текстов программ, например анализатор для исходных текстов С и С++ программ, версия 2.0 (далее — «АИСТ-С» версии 2.0, АИСТ), или другие анализаторы, например АК-ВС (разработки компании «Эшелон») либо программа FortyAges-analyzer v0.3, предназначенная для автоматизации процесса сравнения имен файлов исходных текстов, представленных в логах компиляции, с именами файлов исходных текстов, представленных в списках, определенных с помощью программы фиксации и контроля исходного состояния программного комплекса ФИКС.

На АРМ № 2 испытательного стенда можно фиксировать контрольные суммы исходных текстов программ ПО и/или остальных файлов объекта сертификации с помощью программы ФИКС, анализировать результаты испытаний. АРМ № 1 можно использовать в целях удобства только для компиляции и сборки ПО. После копирования на жесткий диск АРМ № 1 испытательного стенда файлов исходных текстов программ в соответствии со списком в Акте отбора образца обычно проводятся компиляция и сборка дистрибутива испытываемого ПО из отобранных файлов исходных текстов программ.

Эталонный дистрибутив может быть получен (если он не был передан ранее на испытания по акту отбора образца) или собранный заново соответствующий эталонному — так называемый пересобранный дистрибутив, в результате успешной компиляции и сборки дистрибутива ПО на АРМ №1 испытательного стенда. На этом этапе получают файлы логов компиляции и сборки ПО. Тексты логов компиляции и сборки содержат в себе информацию об обращении компилятора к необходимым для сборки файлам исходных текстов.

Эксперт должен провести анализ логов компиляции и сборки для установления факта безошибочной сборки бинарных файлов. Анализ осуществляется по поиску ключевых слов error и warning в логах компиляции и сборки. Сборка выполнена успешно, если уровень предупреждений компилятора признается допустимым и нет ни одной ошибки компилятора при компиляции и сборке объекта сертификации.

Т а б л и ц а 1

Документы, проверяемые при испытаниях на отсутствие не декларированных возможностей

Documents checked during tests for the absence of undocumented features

Требуемые документы
Спецификация, ГОСТ 19.202–78
Описание программы, ГОСТ 19.402–78
Описание применения, ГОСТ 19.502–78
Тексты программ, входящих в состав программного обеспечения, ГОСТ 19.401–78
Пояснительная записка, ГОСТ 19.404–79

Т а б л и ц а 2

**Спецификация (ГОСТ 19.202–78)
Specification (GOST 19.202–78)**

Требования
Спецификация должна содержать разделы: «Документация»; «Комплексы»; «Компоненты»
В раздел «Документация» вносят программные документы на программу, кроме спецификации и технического задания, в порядке возрастания кода вида документа, входящего в обозначение. Далее записывают заимствованные программные документы в порядке возрастания кодов организаций (предприятий) — разработчиков и далее в порядке возрастания вида документа, входящего в обозначение
В разделах «Комплексы» и «Компоненты» указывают полное наименование программы, наименование и вид документа

Далее рассчитываются контрольные суммы (например, с помощью ФИКС) файлов эталонного или пересобранного дистрибутива. Если в процессе сертификационных испытаний собран эталонный дистрибутив, то образец продукции ПО однозначно идентифицируется как эталонный.

Если собранный при испытаниях дистрибутив нельзя (по каким-либо причинам) интерпретировать как эталонный, то возможны два варианта развития событий. В первом случае если контрольные суммы файлов эталонного дистрибутива, который был собран до испытаний, совпадают с файлами пересобранного в процессе испытаний дистрибутива, то считается, что эталонный и пересобранный дистрибутивы идентичны. Во втором случае если контрольные суммы не совпадают, то в последующих испытаниях необходимо доказать, что эталонный и пересобранный дистрибутивы идентичны, что сделать весьма не просто. При этом необходимо иметь в виду, что в любом случае (или в подавляющем большинстве случаев) при каждой новой

Т а б л и ц а 3

Описание программы (ГОСТ 19.402–78)**Description of the program (GOST 19.402–78)**

Требования
В разделе «Общие сведения» следует указать: обозначение и наименование программы; программное обеспечение, необходимое для функционирования программы
В разделе «Функциональное назначение» должны быть указаны классы решаемых задач и (или) назначение программы и сведения о функциональных ограничениях на применение
В разделе «Описание логической структуры» должны быть указаны: алгоритм программы; используемые методы; структура программы с описанием функций составных частей и связи между ними. Описание логической структуры программы выполняется с учетом текста программы на исходном языке
В разделе «Используемые технические средства» указывают типы электронных вычислительных машин и устройств, которые используются при работе
В разделе «Вызов и загрузка» должны быть указаны: способ вызова программы с соответствующего носителя данных; входные точки в программу
В разделе «Входные данные» должны быть указаны: характер, организация и предварительная подготовка входных данных; формат, описание и способ кодирования входных данных
В разделе «Выходные данные» должны быть указаны: характер и организация выходных данных; формат, описание и способ кодирования входных данных

Т а б л и ц а 4

Описание применения (ГОСТ 19.502–78)**Description of application (GOST 19.502–78)**

Требования
Наличие аннотации и содержания
В разделе «Назначение программы» указывают назначение, возможности программы, ее основные характеристики, ограничения, накладываемые на область применения программы
В разделе «Условия применения» указываются условия, необходимые для выполнения программы (требования к необходимым для данной программы техническим средствам, и другим программам, общие характеристики входной и выходной информации, а также требования и условия организационного, технического и технологического характера и т. п.)
В разделе «Описание задачи» должны быть указаны определения задачи и методы ее решения
В разделе «Входные и выходные данные» должны быть указаны сведения о входных и выходных данных

сборке собираемые файлы отличаются. Отличия могут быть в отображении новой даты и времени в теле исполняемого бинарного файла при сборке в другое время и в другую дату. По этой же причине могут не совпадать смещения в секциях и сегментах данных в исполняемых файлах. Такое может произойти, например, в случаях, если через некоторое время после первой сборки при последующих сборках произойдет дефрагментация памяти компьютера и у свободных участков памяти изменятся адреса. При этом могут измениться смещения в секциях и сегментах данных. Например, в программировании такая команда, как `allocate` при обращении к ней в разное время может выделять память по разным адресам свободной памяти в компьютере.

Т а б л и ц а 5

Тексты программ (ГОСТ 19.401–78)**Program texts (GOST 19.401–78)**

Требования
Настоящий стандарт устанавливает требования к содержанию и оформлению программного документа «Текст программы», определенного ГОСТ 19.101–77
Структуру и оформление документа устанавливают в соответствии с ГОСТ 19.105–78
Основная часть документа должна состоять из текстов одного или нескольких разделов, которым даны наименования

Пояснительная записка (ГОСТ 19.404–79)

Explanatory note (GOST 19.404–79)

Требования
В разделе «Введение» указывают наименование программы и (или) условное обозначение темы разработки, а также документы, на основании которых ведется разработка с указанием организации и даты утверждения
В разделе «Назначение и область применения» указывают назначение программы, краткую характеристику области применения программы
Раздел «Технические характеристики» должен содержать следующие подразделы: постановка задачи на разработку программы, описание применяемых математических методов и, при необходимости, описание допущений и ограничений, связанных с применяемым математическим аппаратом; описание алгоритма и (или) функционирования программы с обоснованием выбора схемы алгоритма решения задачи, возможные взаимодействия программы с другими программами; описание и обоснование выбора метода организации входных и выходных данных; описание и обоснование выбора состава технических и программных средств на основании проведенных расчетов и (или) анализов, распределение носителей данных, которые использует программа.
В разделе «Ожидаемые технико-экономические показатели» указывают технико-экономические показатели, обосновывающие преимущество выбранного варианта технического решения, а также, при необходимости, ожидаемые оперативные показатели
В разделе «Источники, использованные при разработке» указывают перечень научно-технических публикаций, нормативно-технических документов и других научно-технических материалов, на которые есть ссылки в основном тексте

Проверка документации, представленной на сертификацию. В процессе испытаний проверяются следующие документы (табл. 1). Информация, которая должна быть представлена в документах, представлена в табл. 2–6.

Состав и содержание представленной документации должны удовлетворять требованиям, установленным в руководящем документе ФСТЭК России «Защита от несанкционированного доступа к информации. Часть 1. Программное обеспечение средств защиты информации. Классификация по уровню контроля отсутствия не декларированных возможностей» (РД НДВ) (Гостехкомиссия России, 1999) [5, 6].

Контроль исходного состояния программного обеспечения. Контроль исходного состояния испытуемого ПО производится путем контрольного суммирования сертифицируемого ПО. Если эталонный дистрибутив ПО получен в процессе контрольной сборки, во время испытаний, то результаты фиксации его исходного состояния должны быть зафиксированы в акте отбора образца. Одновременно создается акт контрольной сборки дистрибутива, в котором заявитель, разработчик ПО и испытательная лаборатория договариваются о том, что собранный в процессе испытаний дистрибутив является эталонным. В нем подтверждается, что эталонный дистрибутив во время испытаний собирался в присутствии заявителя или разработчика. В противном случае эталонный дистрибутив мог быть собран заранее, до проведения испытаний, и представлен по акту отбора образца для испытательной лаборатории.

Результаты контроля исходного состояния испытуемого ПО (контрольные суммы всех файлов

ПО, используемых при сертификации, которые были представлены на сертификацию на основании акта отбора образца) должны совпадать с контрольными суммами (КС) всех файлов ПО, которые представлены в документе «Описание программы». Основными результатами фиксации исходного состояния ПО являются рассчитанные значения КС загрузочных модулей и файлов исходных текстов программ, входящих в состав ПО.

Контрольные суммы отобранного на испытания эталонного дистрибутива ПО должны совпадать с КС соответствующих файлов дистрибутива, представленных в документе «Описание программы», который предоставляет заявитель на сертификацию или разработчик ПО.

Из дистрибутива ПО следует выделить так называемые неизменяемые исполняемые файлы и файлы библиотек, которые не изменяются в процессе функционирования ПО ни по их длине, ни по КС, и относятся к объекту сертификации. В некоторых случаях рекомендуется не выделять все файлы дистрибутива или, например, большую их часть в качестве неизменяемых, поскольку их могут быть тысячи. На наш взгляд следует выбирать наиболее представительные неизменяемые файлы для отражения их в формуляре, в первую очередь, составляющие ядро области сертификации.

Некоторые файлы в дистрибутиве ПО могут не относиться к объекту сертификации, например, не связанные с функциями безопасности информации. Примером могут служить файлы, которые используются только для работы со шрифтами, явно не влияющие на безопасность ПО и не рассматриваемые в качестве относящихся к объекту сертификации средств защиты информации.

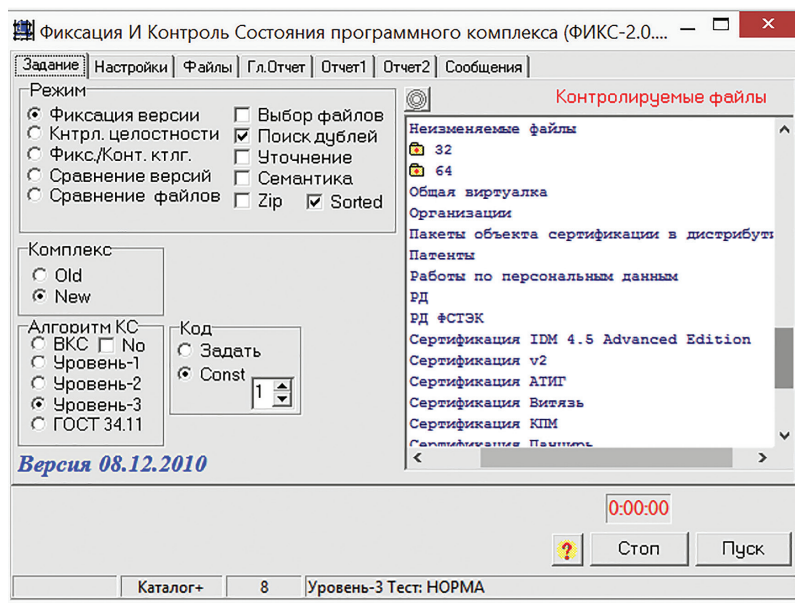


Рис. 2. Интерфейс программы ФИКС
Fig. 2. FIKS program interface

Контрольные суммы неизменяемых исполняемых файлов и библиотек (эти файлы могут точно совпадать с файлами эталонного дистрибутива) отражаются в формуляре (или паспорте) на продукт ИТ (ПО).

Контрольные суммы исходных текстов сертифицируемого ПО фиксируются в акте отбора образца и должны совпадать с теми, что представлены в документе «Описание программы».

Контроль исходного состояния ПО заключается в фиксации исходного состояния ПО и последующем сравнении полученных результатов со значениями, приведенными в документации. Результатом фиксации исходного состояния ПО служат рассчитанные значения КС загрузочных модулей и исходных текстов программ, входящих в состав ПО. Контрольные суммы рассчитываются для каждого файла, входящего в состав сертифицируемого ПО. Результат контроля — это результат сравнения рассчитанных КС файлов, входящих в состав ПО, с соответствующими КС, декларированными в документации.

Проводится фиксация исходного состояния программного обеспечения ПО. Для этого эксперт осуществляет расчет КС всех бинарных файлов, а также всех файлов исходных текстов из состава объекта оценки (ОО). Программа ФИКС (например, на АРМ № 2, как показано на рис. 1) должна подсчитать значения контрольных сумм для каждого файла, присутствующего на дистрибутивном носителе информации.

Если для подсчета КС эксперт использует программу ФИКС, то он должен запустить ее и настроить работу программы на необходимый алгоритм подсчета КС, например, алгоритм

«Уровень-3, программно» (рис. 2). Далее эксперт наводит курсор на необходимую папку в дереве файловой системы в программе, и нажимает на кнопку «Пуск». Дождавшись окончания работы программы ФИКС, эксперт получает отчет о КС, необходимых для анализа.

С помощью программы ФИКС рассчитываются значения КС для неизменяемых файлов библиотек и бинарных исполняемых файлов ОО, установленных в системе после установки дистрибутива (например, на АРМ № 1, см. рис. 1). Расчет КС неизменяемых файлов библиотек и бинарных исполняемых файлов проводится после их контрольной сборки и установки эталонного дистрибутива.

Дистрибутив ПО, полученный во время контрольной сборки, может считаться эталонным при согласовании с заявителем. По этой причине контрольную сборку следует осуществлять во время отбора образца. После контрольной сборки исполняемых файлов фиксируются их КС с помощью программы ФИКС.

Необходимо сформировать отчеты программы ФИКС, фиксирующие КС файлов ПО. Все отчеты следует прилагать к протоколу испытаний. Рассчитанные значения КС файлов, находящихся на дистрибутивных носителях и исходных текстах ОО, фиксируют исходное состояние ПО.

Программа испытаний и проверок. Предположим, что программа испытаний и проверок ОО с определенными заводскими номерами, например, №№ 122, 123 состоит из испытаний на отсутствие в ОО недеklarированных возможностей (НДВ) и анализа угроз (АУ) в соответствии с требованиями безопасности информации по

определенному уровню контроля. В связи с тем, что ОО с различными заводскими номерами должны быть идентичны, испытания могут быть проведены на ОО с № 122, а идентификация ОО с № 123 будет проводиться путем сличения полученных контрольных сумм ПО для ОО № 122 и № 123.

Система показателей соответствия ОО требованиям безопасности информации устанавливается с учетом требований ФСТЭК России согласно уровню доверия контроля в соответствии с методическими документами.

Испытания ОО по выявлению НДВ и АУ проводятся в три этапа:

- 1) подготовка к проведению испытаний;
- 2) проведение испытаний;
- 3) оформление результатов испытаний.

По окончании испытаний следует составить протокол испытаний и техническое заключение [7, 8].

Результаты испытаний. На этапе подготовки к проведению испытаний необходимо провести анализ документации и подготовку испытательного стенда.

Анализ документации подразумевает выявление потенциально опасных функциональных возможностей ОО, при этом проверяется следующая документация:

- формуляр;
- описание применения;
- инструкция по установке и эксплуатации ПО;
- спецификация;
- технические условия;
- текст программы и ее описание;
- требования к модели безопасности;
- описание архитектуры безопасности;
- функциональная спецификация;
- требования к проектированию;
- представление реализации средства;
- средства, применяемые для разработки;
- требования к управлению конфигурацией;
- документация по безопасной разработке;
- руководство пользователя;
- руководство администратора;
- тестовая документация;
- требования по поддержке безопасности средства;
- реализация требований к программе в части соответствия стандарту разработки безопасного ПО.

При подготовке к испытаниям важно выполнить анализ комментариев разработчика к исходному коду, направленный на выявление потенциально опасных функциональных возможностей. Для этого эксперт проверяет комментарии разработчика к исходному коду.

Если исходный программный код ОО окажется закомментированным не в достаточной мере, то этот

недостаток можно устранить, применив синтаксический анализ программного кода, который осуществляется с помощью анализатора исходных текстов программ — *FortyAges-analyzer v0.4*, содержащего базу данных языковых конструкций различных языков программирования с описанием основных возможностей таких конструкций и с информацией об их возможном небезопасном применении.

Таким образом, основную информацию, связанную с комментариями, предоставляет анализатор *FortyAges-analyzer v0.4* путем поиска в файлах с исходными кодами ОО соответствующих конструкций и отражения информации о них в отчете о своей работе, что в полной мере компенсирует недостаточное количество комментариев в программе ОО.

Применяемые конструкции в программе ОО и их описание представлены в примере, описанном ниже в виде отчетов анализатора *FortyAges-analyzer v0.4*:

```
RegQueryValueEx
// RegQueryValueEx получает значение параметра из раздела
// реестра. Это может быть число, строка и другие типы данных.
// При чтении строковых типов данных используйте ключевое
// слово ByVal перед lpData, для других типов данных ByVal
// использовать необязательно sizeof
// sizeof – возвращает число байт,
// занимаемых параметром
RegQueryValueEx
// RegQueryValueEx получает значение параметра из раздела
// реестра. Это может быть число, строка и другие типы данных.
// При чтении строковых типов данных используйте ключевое
// слово ByVal перед lpData, для других типов данных ByVal
// использовать необязательно
ShellExecute
// ShellExecute используется в случаях, когда вы хотите, чтобы
// WINDOWS сама решала, как обрабатывать тот или иной документ
// по имени этого документа. Функция способна открывать, печатать
// файл или запускать программу. Под Win 95/98/ME эта функция
// также откроет папку Мой компьютер или Проводник с указанным
// каталогом. Если выполняющая программа определена, Windows
// запустит ту программу. Если файл документа определен, Windows
```


//откроет или напечатает его, используя связанную программу

// ShellExecute — является небезопасной конструкцией, поскольку на

//ее основе можно организовать программные закладки

При подготовке к испытаниям выполняется анализ описания программы и пояснительной записки к эскизному и (или) техническому проектам, направленный на выявление потенциально опасных функциональных возможностей [9, 10].

Эксперт осуществляет анализ документа «Описание программы». В соответствии с данным документом ОО проводит сканирование ресурсов компьютера для моделирования матрицы доступа. При сканировании ОО получает информацию о структуре ресурсов АРМ, сохраняет ее в памяти ПЭВМ и осуществляет считывание прав доступа файловой системы NTFS. При сканировании дисков с файловой системой NTFS объект оценки считывает установленные права доступа, преобразует их в формат, используемый для представления прав доступа в соответствии с правилами разделения доступа (ПРД) и осуществляет построение дерева ресурсов. По результатам сканирования ОО автоматически строит иерархическую структуру, соответствующую структуре ресурсов АРМ, предоставляет получение списка локальных и доменных пользователей и получает списки учетных записей пользователей, зарегистрированных как непосредственно на АРМ, так и на контроллере домена (в случае, если АРМ входит в состав домена). Эти пользователи регистрируются в проекте разделения доступа (ПРД определяются в матрице доступа) наравне с другими субъектами доступа. Объект оценки позволяет определять права пользователей. После построения дерева ресурсов администратор может регистрировать пользователей в ПРД и устанавливать их уровни допуска. Объект оценки предоставляет возможности по моделированию разрешительной системы. Администратор устанавливает права доступа пользователей к объектам доступа. Объект оценки позволяет создавать отчеты на основе информации о субъектах и объектах доступа и формировать их на основе информации, содержащейся в ПРД.

Требуется выполнить анализ перечисленных выше действий для выявления потенциально опасных функциональных возможностей ОО. Информация, необходимая для анализа и соответствующая пояснительной записке к эскизному и (или) техническому проектам, может находиться в следующих документах ОО:

- «Требования к проектированию»;
- «Представление реализации средства».

Для представленного ОО не требуется реализации механизмов защиты. Объект оценки не реализует политику управления доступом пользователей к ресурсам и функционал управления информационными потоками, не содержит специальных мер защиты, характерных для средств защиты информации, и это может быть отображено в документе «Требования к проектированию».

Кроме того, ОО не содержит подсистем, реализующих функции безопасности средства, поддерживающих выполнение функций безопасности и не влияющих на выполнение функций безопасности, т. е. подсистем, которые взаимодействуют (оказывают влияние, не оказывают влияния или иным образом взаимодействуют) с функциями безопасности средства.

Эксперту необходимо выполнить анализ документа «Представление реализации средства».

Далее для этого осуществляется подготовка испытательного стенда (см. рис. 1) с учетом следующих требований:

1) наличие при проведении исследований таких исходных данных, как дистрибутив, документация, исходные тексты программы ПО, результаты испытаний;

2) формирование исследовательского стенда по схеме (см. рис. 1) с техническими, программными и инструментальными средствами, указанными в табл. 1;

3) развертывание и настройка сред функционирования ОО, а также необходимого ПО;

4) установка, конфигурирование и настройка ОО в соответствии с документацией по его эксплуатации;

5) расчет КС в целях проведения сертификационных работ файлов исходных текстов, неизменяемых исполняемых файлов и файлов дистрибутива ОО с определенным заводским номером с помощью средств фиксации и контроля исходного состояния программного комплекса.

Контрольные суммы можно рассчитать, например, применяя программу «ФИКС» (версия 2.0.2) (ЗАО «ЦБИ-сервис», сертификат соответствия ФСТЭК России № 1548, техническая поддержка до 15.01.2025 г.). Для всех отобранных экземпляров с определенными заводскими номерами все КС должны быть идентичны. Контрольные суммы неизменяемых исполняемых файлов и файлов дистрибутива должны соответствовать КС, приведенным в формуляре для ОО [11].

После проверки выполняется анализ дистрибутива ОО (а также исполняемых файлов), в том числе среды функционирования ОО с использованием не менее двух сертифицированных средств антивирусной защиты от различных разработчиков с поддержкой актуальных баз данных угроз.

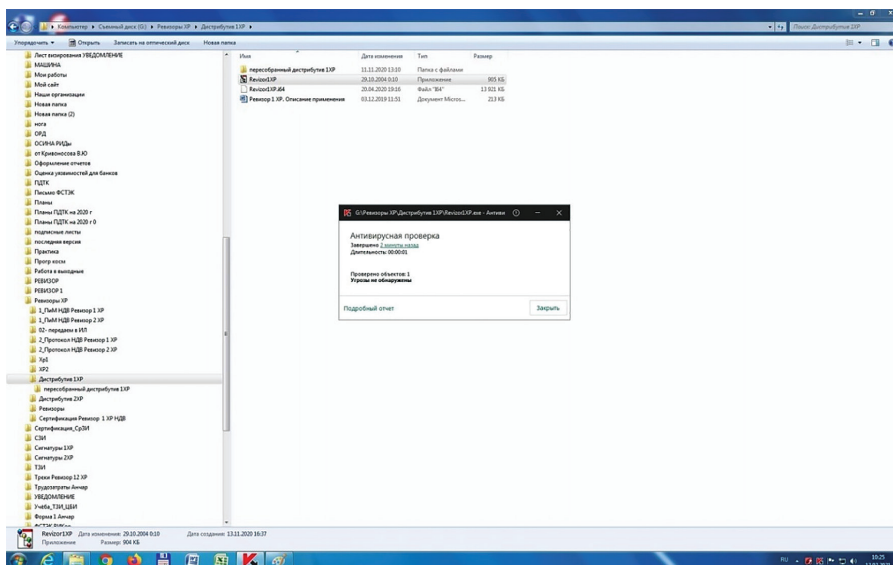


Рис. 3. Результат проверки исполняемого файла объекта оценки с помощью программного изделия «Kaspersky Endpoint Security для Windows»
 Fig. 3. The result of checking the executable file of the evaluation target using the software product «Kaspersky Endpoint Security for Windows»

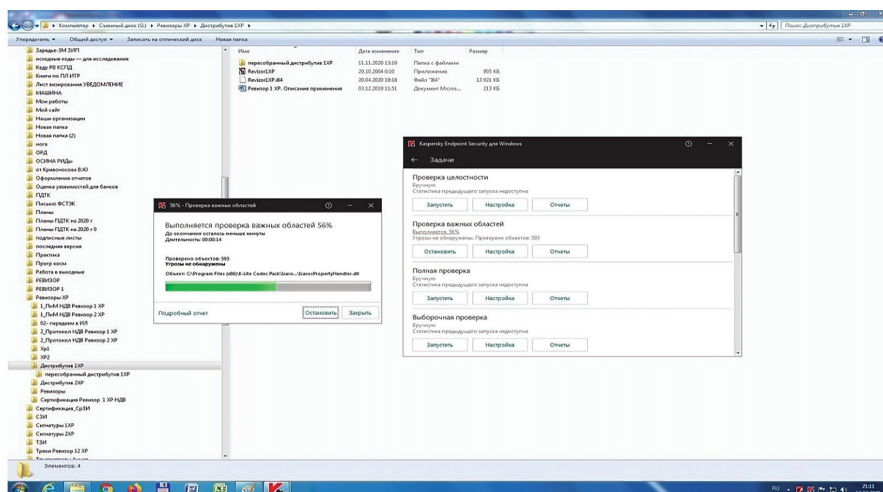


Рис. 4. Проверка среды функционирования объекта оценки с помощью программного изделия «Kaspersky Endpoint Security для Windows»
 Fig. 4. Checking the operating environment of the evaluation target using the «Kaspersky Endpoint Security for Windows» software product

На рис. 3 представлен результат проверки исполняемого файла ОО с помощью антивирусной программы. Из рис. 3 следует, что угрозы не обнаружены.

С помощью антивирусной программы «Kaspersky Endpoint Security для Windows» можно проверить среду функционирования ОО (рис. 4).

На данном этапе проведения испытаний (подготовки к проведению испытаний) проводится проверка выполнения компиляции и сборки ОО, а также осуществляется лабораторная сборка ОО.

С этой целью для компилируемых языков (например, Паскаль) выполняют следующие действия [12]:

- запуск средства разработки (например, Delphi 7);
 - выбор проекта для ОО в Delphi 7;
 - выбор меню «Project» → «Build»;
 - после сборки в определенном каталоге появится исполняемый файл ОО, который является продуктом компиляции и сборки ОО;
 - закрыть проект (меню «File» → «Close All») [13];
- После копирования на жесткий диск ПЭВМ № 1 испытательного стенда файлов исходных текстов программ в соответствии со списком в акте отбора ОО проводится успешная компиляция и сборка дистрибутива ОО из отобранных файлов исходных текстов программ [14–17].

Выводы

В целях выявления архитектурных уязвимостей кода и опасных функциональных объектов в ПО необходимо выполнить его ручной анализ.

Описанные выше испытания показали возможность осуществления экспертизы участков исходного программного кода. С помощью анализатора исходных текстов программ можно получить сведения о связях между информационными и функциональными объектами с указанием их принадлежности функциональным объектам.

Анализ ПО может показать, используются ли в данном ПО небезопасные конструкции, например ShellExecute. По полученным результатам проводится ручной анализ ПО. Для этого эксперт использует комментарии к исходным программным кодам ОО, представляемым разработчиком ПО. Анализатор исходных текстов программы FortyAges-analyzer v0.4 позволяет, например, для языка программирования, Паскаль, а также языков C, C++, комментировать исходные тексты программы.

Список литературы

- [1] Дроботун Е. Криптором по антивирусу // Хакер, 2013. № 168 (1). С.82–85.
- [2] Экспертиза программной документации на соответствие требованиям Государственных стандартов ГОСТ Р ИСО/МЭК 12119–2000 (п. 3.2), ГОСТ Р ИСО 9127–94 (п.п. 5, 6.1, 6.3–6.5). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200025075> (дата обращения 09.10.2021).
- [3] Кошечая И.П., Канке А.А. Метрология. Стандартизация. Сертификация. М.: ФОРУМ, 2009. 414 с.
- [4] Аграновский А.В., Хади Р.А. Новый подход к защите информации – системы обнаружения компьютерных угроз // Jet Info, 2007. № 04(167). С. 2–22.
- [5] Джодж С., Ваймерских А. Всеобщее управление качеством: стратегии и технологии, применяемые сегодня

в самых успешных компаниях (TQM). СПб.: Виктория плюс, 2002. 256 с.

- [6] Калугин О.А. Сложности сертификации // Security and IT. Management, 2020. № 36. С. 37.
- [7] Волков В.И. Основы теории и практики экспертной деятельности. М.: АМИ, 2003. 192 с.
- [8] Крейг Р.Дж. ИСО 9000. Руководство по получению сертификата о регистрации. М.: Стандарты и качество, 2001. 183 с.
- [9] Крылова Г.Д. Основы стандартизации, сертификации, метрологии. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001. 711 с.
- [10] Москвин В.А. Управление качеством в бизнесе: рекомендации для руководителей предприятий, банков, риск-менеджеров. М.: Финансы и статистика, 2006. 384 с.
- [11] Постановление Правительства РФ от 26.09.2016 г. № 969 «Об утверждении требований к функциональным свойствам технических средств обеспечения транспортной безопасности и Правил обязательной сертификации технических средств обеспечения транспортной безопасности». URL: <https://base.garant.ru/71500596/> (дата обращения 09.10.2021).
- [12] Сборник законов и иных нормативных правовых актов Российской Федерации по вопросам сертификации продукции и услуг. М.: ВНИИ сертификации Госстандарта России, 1995. 104 с.
- [13] Сергеев А.Г., Латышев М.В. Сертификация. М.: Логос, 2000. 536 с.
- [14] Пич Р.В., Пич Б., Риттер Д. Справочник по использованию ISO 9001 – стандарта систем качества. Киев: Украинская ассоциация качества, 2003. 184 с.
- [15] Система сертификации ГОСТ Р. Основные положения и порядок сертификации услуг / Комитет Российской Федерации по стандартизации, метрологии и сертификации. URL: <https://docs.cntd.ru/document/5200306> (дата обращения 09.10.2021).
- [16] Лифиц И.М. Основы стандартизации, метрологии, сертификации. М.: Юрайт, 1999. 285 с.
- [17] Бороздина А.Г. Определение состава документации, сопровождающей жизненный цикл программ для ЭВМ // Вестник ВНИИДАД, 2021. № 1. С. 36–50.
- [18] Кошечая И.П., Канке А.А. Метрология. Стандартизация. Сертификация. М.: ФОРУМ, 2009. 414 с.

Сведения об авторах

Комаров Евгений Геннадиевич — д-р техн. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), fuzzykom@gmail.com

Лозовецкий Вячеслав Владимирович — д-р техн. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), lozovetsky@mail.ru

Лебедев Владимир Владимирович — канд. техн. наук, доцент РТУ — МИРЭА, voval_matr@mail.ru

Архипенко Андрей Валентинович — канд. техн. наук, Сочинский международный инновационный университет, andrei-arhipenko@mail.ru

Поступила в редакцию 04.04.2022.

Одобрено после рецензирования 11.07.2022.

Принята к публикации 15.08.2022.

CERTIFICATION AND IDENTIFICATION OF POSSIBLE THREATS TO INFORMATION SECURITY OF SOFTWARE AND FIRMWARE

E.G. Komarov¹, V.V. Lozovetsky^{1✉}, V.V. Lebedev², A.V. Archipenko³

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

²Russian Technological University — MIREA, 20, Stromynka st., 107996, Moscow, Russia

³Sochi International Innovative University, 10a, Ordzhonikidze st., 354000, Sochi, Russia

lozovetsky@mail.ru

A number of methods, methods and tools are proposed for certification of software and firmware in information systems in order to select approaches and tools for working in non-standard situations in a constantly changing regulatory and methodological framework and possible threats to their information security. The type of certification under consideration is limited to methods and techniques for analyzing vulnerabilities and undeclared capabilities. This type of certification is intended for software research. Not all possible aspects related to this type of certification have been considered, however, the novelty and advantages of the approaches are based on some original approaches in cases where it is not clear how to present sets of input data for testing. Approaches to certification tests are presented using tools of our own design, which allows you to identify the main parameters necessary for assembling software and its research, and to parse software written in various programming languages. Based on the program of testing and verification of the object of assessment in accordance with the requirements of information security under a certain level of control, methods for conducting certification studies are proposed, the advantages of approaches using the available and proposed tools are shown. To save on the purchase of tools, some well-known, free and freely distributed tools, as well as effective and inexpensive software products, are proposed for use in tests.

Keywords: certification, regulatory and methodological framework, tools, object of assessment, threat analysis, information security, software, programming language, experimental stand

Suggested citation: Komarov E.G., Lozovetsky V.V., Lebedev V.V., Archipenko A.V. *Sertifikatsiya programmno i programmno-apparatnogo obespecheniya transportnykh informatsionnykh sistem v sootvetstvii s trebovaniyami bezopasnosti* [Certification and identification of possible threats to information security of software and firmware]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 5, pp. 145–157. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-5-145-157

References

- [1] Drobotun E. *Kriptorom po antivirusu* [Antivirus cryptor]. Header, 2013, no. 168 (1), pp. 82–85.
- [2] *Ekspertiza programmnoy dokumentatsii na sootvetstvie trebovaniyam Gosudarstvennykh standartov GOST R ISO/MEK 12119–2000 (p. 3.2), GOST R ISO 9127–94 (p.p. 5, 6.1, 6.3–6.5)* [Examination of software documentation for compliance with the requirements of State Standards GOST R ISO/IEC 12119–2000 (clause 3.2), GOST R ISO 9127–94 (clauses 5, 6.1, 6.3–6.5)]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200025075> (accessed 09.10.2021).
- [3] Koshevaya I.P., Kanke A.A. *Metrologiya. Standartizatsiya. Sertifikatsiya* [Metrology. Standardization. Certification]. Moscow: Forum, 2009, 414 p.
- [4] Agranovskiy A.V., Khadi R.A. *Novyy podkhod k zashchite informatsii – sistemy obnaruzheniya komp'yuternykh ugroz* [A new approach to information security - computer threat detection systems]. *Jet Info*, 2007, no. 04 (167), pp. 2–22.
- [5] George S., Weimerskikh A. *Vseobshchee upravlenie kachestvom: strategii i tekhnologii, primenyemye segodnya v samykh uspekhnykh kompaniyakh (TQM)* [Total Quality Management: Strategies and Technologies Used in Today's Most Successful Companies (TQM)]. St. Petersburg: Viktoriya plus [Victoria plus], 2002, 256 p.
- [6] Kalugin O.A. *Slozhnosti sertifikatsii* [Difficulties of certification]. *Security and IT Management*, 2020, no. 36, p. 37.
- [7] Volkov V.I. *Osnovy teorii i praktiki ekspertnoy deyatel'nosti* [Fundamentals of the theory and practice of expert activity]. Moscow: AMI, 2003, 192 p.
- [8] Craig R.J. *ISO 9000. Rukovodstvo po polucheniyu sertifikata o registratsii* [ISO 9000. Guidelines for obtaining a certificate of registration]. Moscow: Standarty i kachestvo [Standards and quality], 2001, 183 p.
- [9] Krylova G.D. *Osnovy standartizatsii, sertifikatsii, metrologii* [Fundamentals of standardization, certification, metrology]. Moscow: UNITI-DANA, 2001, 711 p.
- [10] Moskvina V.A. *Upravlenie kachestvom v biznese: Rekomendatsii dlya rukovoditeley predpriyatiy, bankov, risk-menedzherov* [Quality management in business: Recommendations for business leaders, banks, risk managers]. Moscow: Finansy i statistika [Finance and statistics], 2006, 384 p.
- [11] *Postanovleniya Pravitel'stva RF ot 26.09.2016 g. № 969 «Ob utverzhdenii trebovaniy k funktsional'nym svoystvam tekhnicheskikh sredstv obespecheniya transportnoy bezopasnosti i Pravil obyazatel'noy sertifikatsii tekhnicheskikh sredstv obespecheniya transportnoy bezopasnosti* [Decree of the Government of the Russian Federation of September 26, 2016 No. 969 «On approval of the requirements for the functional properties of technical means of ensuring transport security and the Rules for mandatory certification of technical means of ensuring transport security». Available at: <https://base.garant.ru/71500596/> (accessed 09.10.2021).
- [12] *Sbornik zakonov i inykh normativnykh pravovykh aktov Rossiyskoy Federatsii po voprosam sertifikatsii produktsii i uslug* [Collection of laws and other normative legal acts of the Russian Federation on the issues of certification of products and services]. Moscow: VNII sertifikatsii Gosstandarta Rossii [VNII certification of the State Standard of Russia], 1995, 104 p.
- [13] Sergeev A.G., Latyshev M.V. *Sertifikatsiya* [Certification]. Moscow: Logos, 2000, 536 p.
- [14] Pich R.V., Pich B., Ritter D. *Spravochnik po ispol'zovaniyu ISO 9001 – standarta sistem kachestva* [A guide to the use of ISO 9001 – a quality system standard]. Kyiv: Ukrainskaya assotsiatsiya kachestva [Ukrainian Association for Quality], 2003, 184 p.

- [15] *Sistema sertifikatsiya GOST R. Osnovnye polozheniya i poryadok sertifikatsii uslug/ Komitet Rossiyskoy Federatsii po standartizatsii, metrologii i sertifikatsii* [Certification system GOST R. Basic provisions and procedure for certification of services. Committee of the Russian Federation for Standardization, Metrology and Certification]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/5200306> (accessed 09.10.2021).
- [16] Lifits I.M. *Osnovy standartizatsii, metrologii, sertifikatsii* [Fundamentals of standardization, metrology, certification]. Moscow: Yurayt, 1999, 285 p.
- [17] Borozdina A.G. *Opreделение sostava dokumentatsii, soprovozhdayushchey zhiznennytsikl programm dlya EVM* [Determination of the composition of the documentation accompanying the life cycle of computer programs]. Vestnik VNIIDAD, 2021, no. 1, pp. 36–50.
- [18] Koshevaya I.P., Kanke A.A. *Metrologiya. Standartizatsiya. Sertifikatsiya* [Metrology. Standardization. Certification]. Moscow: FORUM, 2009, 414 p.

Authors' information

Komarov Evgeniy Gennadievich — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), fuzzykom@gmail.com

Lozovetskiy Vyacheslav Vladimirovich ✉ — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), lozovetskiy@mail.ru

Lebedev Vladimir Vladimirovich — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the RTU — MIREA, voval_matr@mail.ru

Arkhipenko Andrey Valentinovich — Cand. Sci. (Tech.), Sochi International Innovative University, andrei-arhipenko@mail.ru

Received 04.04.2022.

Approved after review 11.07.2022.

Accepted for publication 15.08.2022.

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



ЦИФРОВИЗАЦИЯ ЛЕСНОЙ ОТРАСЛИ СУЩЕСТВЕННО УПРОСТИТ РАБОЧИЕ ПРОЦЕССЫ ЛЕСОПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ

Об этом в своем выступлении на Восточном экономическом форуме заявил заместитель руководителя Рослесхоза Вячеслав Спиренков.

В рамках сессии «Лес: от сырья к конечному продукту» он подробнее рассказал о цифровой трансформации лесной отрасли, развитии ЛесЕГАИС и создании ФГИС ЛК.

Рослесхоз делает активные шаги для цифровизации лесного хозяйства. Это позволит упростить деятельность лесопользователей за счет сбора, анализа и доступности данных о лесах с помощью цифровых сервисов и услуг, а также снизить время на подготовку документов и получение информации.

«Свободный доступ к информации о лесах и сведениям о том, где можно производить рубки и какие объемы древесины заготавливать, должен стимулировать лесопользователей более активно участвовать в торгах по использованию лесов, а также в приоритетных инвестиционных проектах. Рослесхоз ведет в этом направлении огромную работу. Проект освоения лесов – это еще один документ, который в марте 2023 года мы планируем перевести в электронный формат», — прокомментировал Вячеслав Спиренков.

Кроме того, сейчас проводится модернизация системы ЛесЕГАИС, которая активно используется для учета договоров с древесиной и электронно-сопроводительных документов на ее транспортировку.

С начала 2022 года в модернизированном блоке ЛесЕГАИС зарегистрировано почти 48,4 тыс. пользователей, ежедневно с системой и мобильным приложением работают около 7,1 тыс. юридических лиц и индивидуальных предпринимателей. Уже сформировано более 5 млн электронных сопроводительных документов на транспортировку древесины, общим объемом 222,5 млн м³, ежедневный объем перевозимой древесины составляет в среднем около 0,9 млн м³.

ЛесЕГАИС позволяет контролировать экспорт круглого леса в страны ЕАЭС совместно с Федеральной таможенной службой. Сегодня доступный к вывозу объем необработанной древесины в страны Евразийского экономического союза (ЕАЭС) составляет: Армения — 7,9 м³, Беларусь — 2 379,9 м³, Казахстан — 359 389,3 м³, Кыргызстан — 8 423,3 м³.

Рослесхоз ведет работу и по созданию ФГИС ЛК — единого цифрового пространства, которое позволит фиксировать все лесохозяйственные мероприятия и получать достоверную информацию о лесах как для лесопользователей, так и для органов власти. Разработана пилотная версия личного кабинета лесопользователя, где можно в электронном виде формировать лесные декларации, подписывать их и направлять в уполномоченные органы власти, а также формировать отчеты об использовании лесов. Функционал будет постепенно расширяться. Планируется предоставить доступ лесопользователям к личному кабинету в 2023 году. Тестовая эксплуатация ФГИС ЛК также начнется в 2023 году в Московской области, Пермском и Красноярском краях.

«Цифровизация лесной отрасли будет производиться поэтапно и завершится 1 января 2025 года», — подытожил Вячеслав Спиренков.

Также на сессии спикеры обсудили текущую ситуацию ЛПК Дальнего Востока, результаты переориентации с экспорта необработанной древесины на ее глубокую переработку внутри страны и другие важные вопросы. Модератором дискуссии выступил директор Рослесинфорга, подведомственной организации Рослесхоза, Павел Чашин.

Справочно:

*Восточный экономический форум — ключевая международная площадка для создания и укрепления связей российского и мирового инвестиционного сообщества, всесторонней экспертной оценки экономического потенциала российского Дальнего Востока, представления его инвестиционных возможностей и условий ведения бизнеса на территориях опережающего развития.

Пресс-служба Рослесхоза