

ЛЕСНОЙ ВЕСТНИК / FORESTRY BULLETIN

Научно-информационный журнал

№ 4 ' 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 14.06.2022.

Тираж 600 экз.

Заказ №

Объем 16,75 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. 4 ' 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.), OOO «Kudesnik», Moscow
Strekalov Aleksandr Fedorovich, Ph. D. (Tech.), JSC «Tactical Missiles Corporation», Korolev
Teodoronskiy Vladimir Sergeevich, Professor, Dr. Sci. (Agric.), academician of the Russian Academy of Natural Sciences, BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
Titov Anatoliy Matveevich, Ph. D. (Tech.), Deputy Chief of Department, Scientific Secretary of the Board of MCC 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 14.06.2022.
Circulation 600 copies
Order №
Volume 16,75 p. p.
Price free

СОДЕРЖАНИЕ

БИОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА

Данчева А.В., Залесов С.В. Влияние рубок ухода на биологическую устойчивость сосняков защитного назначения Северного Казахстана	5
Третьякова Р.А., Паркина О.В., Якубенко О.Е. Особенности развития корневой системы ели сибирской (<i>Picea obovata</i>) при разных технологиях выращивания	14
Филатов А.А., Грязькин А.В., Гаврилова О.И. Оценка структуры и состояния молодняков с использованием беспилотных летательных аппаратов и наземным методом	21
Крючков С.Н., Солонкин А.В., Соломенцева А.С., Романенко А.К., Егоров С.А. Применение современных биостимуляторов и регуляторов роста для питомниководства в условиях деградации и опустынивания	29
Сунгурова Н.Р., Дрочкова А.А., Гаевский Н.П., Волыхина Н.В., Бабич Н.А. Конденсат сушки древесины как активатор энергии прорастания и всхожести семян сосны обыкновенной <i>Pinus sylvestris</i> L.	39
Горепекин И.В., Федотов Г.Н., Потапов Д.И., Батырев Ю.П., Шалаев В.С. Снижение аллелотоксичности почв и почвенных субстратов	46
Лебедев А.В. Обобщенная модель распределения диаметров деревьев в сосновых древостоях	53

ЛАНДШАФТНАЯ АРХИТЕКТУРА

Теодоронский В.С., Парфенова А.Е. Особенности ландшафтной организации мемориальных комплексов Республики Крым	63
Коляда А.С., Белов А.Н., Розломий Н.Г., Берсенева С.А. Сквер как ландшафтно-архитектурная территория рекреационно-функционального назначения на территории города Уссурийска Приморского края	73
Мамаева Н.А., Кузнецова Я.В. Морфологические признаки представителей группы Безбородые ирисы с точки зрения возможностей их применения в ландшафтных композициях (в стиле Natur garden)	81

ДЕРЕВООБРАБОТКА И ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

Кононов Г.А., Вережкин А.Н., Сердюкова Ю.В., Петухов В.А., Горячев Н.Л. Микелиз древесины, его продукты и их использование. V. «Бурая гниль» древесины как природный композит и источник полупродуктов	92
Скурыдин Ю.Г., Скурыдина Е.М. Влияние предгидролитической обработки древесины березы на физико-механические характеристики композитного материала, получаемого на ее основе	103
Кольниченко Г.И., Тарлаков Я.В., Усачев М.С. Климат планеты и проблемы энергетического развития и сотрудничества	113

ЛЕСОИНЖЕНЕРНОЕ ДЕЛО

Мурашова О.В., Главатских Н.С., Перфильев П.Н., Задраускайте Н.О. Перспективы комплексного использования отходов лесозаготовительного производства	119
--	-----

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Гайнуллин Рен. Х., Гайнуллин Риш. Х., Цветкова Е.М., Смирнов М.Ю., Макаров А.А., Еросланов А.В. Математическое обоснование технологических параметров устройства для измерения кажущейся плотности пористых материалов	128
---	-----

CONTENTS

BIOLOGICAL AND TECHNOLOGICAL ASPECTS OF FORESTRY

Dancheva A.V., Zalesov S.V. Influence of thinning on protective pineries biosustainability in Northern Kazakhstan	5
Tretyakova R.A., Parkina O.V., Yakubenko O.E. Developmental features of Siberian spruce (<i>Picea obovata</i>) root system with different cultivation technologies	14
Filatov A.A., Gryazkin A.V., Gavrilova O.I. Unmanned aerial vehicles and land technique assessment of young forest stands	21
Kryuchkov S.N., Solonkin A.V., Solomentseva A.S., Romanenko A.K., Egorov S.A. Modern biostimulants and growth regulators for nursery breeding in conditions of degradation and desertification	29
Sungurova N.R., Drochkova A.A., Gayevsky N.P., Volykhina N.V., Babich N.A. Wood drying condensate as <i>Pinus Sylvestris</i> L. seeds germination activator	39
Gorepekin I.V., Fedotov G.N., Potapov D.I., Batyrev Yu.P., Shalaev V.S. Allelotoxicity of soils and soil substrates reduction	46
Lebedev A.V. Generalized model of pine trees diameter distribution	53

LANDSCAPE ARCHITECTURE

Teodoronsky V.S., Parfyonova A.E. Landscape arrangement of memorial complexes Republic of Crimea	63
Kolyada A.S., Belov A.N., Rozlomy N.G., Berseneva S.A. Garden square as landscape-architectural territory of recreational and functional purpose in city of Ussuriisk, Primorsky Krai	73
Mamaeva N.A., Kuznetsova Ya.V. Morphological features of Beardless iris group and their application in landscape compositions (in Natur Garden style)	81

WOODWORKING AND CHEMICAL WOOD PROCESSING

Kononov G.N., Verevkin A.N., Serdyukova Yu.V., Petukhov V.A., Goryachev N.L. Mycolysis of wood, its products and their use. V. «Brown rot» of wood as a natural composite and source of intermediates	92
Skurydin Yu.G., Skurydina E.M. Birchwood pre-hydrolytic treatment effect on physical and mechanical characteristics of composite material obtained on its basis	103
Kol'nichenko G.I., Tarlakov Y.V., Usachev M.S. Planet climate and energy development and cooperation problems	113

FOREST ENGINEERING

Murashova O.V., Glavatskikh N.S., Perfiliev P.N., Zadrauskaite N.O. Prospects for the integrated use of logging production waste	119
--	-----

MATH MODELING

Gainullin Ren. H., Gainullin Rich. H., Tsvetkova E.M., Smirnov M.Y., Makarov A.A., Eroslanov A.V. Mathematical substantiation technological parameters of device to measure apparent density of porous materials	128
--	-----

ВЛИЯНИЕ РУБОК УХОДА НА БИОЛОГИЧЕСКУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ СОСНЯКОВ ЗАЩИТНОГО НАЗНАЧЕНИЯ СЕВЕРНОГО КАЗАХСТАНА

А.В. Данчева¹✉, С.В. Залесов²

¹ФГБОУ ВО «Государственный аграрный университет Северного Зауралья», 625003, г. Тюмень, ул. Республики, д. 7

²ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», 620110, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, д. 37

dancheva.av@gausz.ru

Представлены результаты исследований влияния рубок ухода различной интенсивности за 70-летний период на состояние и устойчивость сосняков Казахского мелкосопочника Северного Казахстана (на примере государственного национального природного парка «Бурабай»). Установлено, что по средним значениям показателя жизненного состояния, комплексного оценочного показателя и относительной высоты чистые одновозрастные высокополотные загущенные сосняки V класса возраста, произрастающие в сухих лесорастительных условиях на большинстве секций характеризуются как «ослабленные», за исключением сосняков на секциях с проведенными рубками ухода сильной и очень сильной интенсивности. Данные древостои охарактеризованы по показателю относительной высоты как «здоровые». Доказано, что наиболее достоверным показателем состояния исследуемых сосновых древостоев и проведения в них соответствующих лесохозяйственных мероприятий является относительная высота, которая может быть использован в качестве критерия оценки биологической устойчивости сухих сосновых насаждений Казахского мелкосопочника. Установлено, что высокие показатели относительной полноты исследуемых сосняков указывают на необходимость уточнения стандартных таблиц сумм площадей поперечных сечений и запасов сосняков Казахского мелкосопочника. Рекомендовано проведение одного-двух приемов рубок ухода интенсивностью 26...35 % по запасу по низовому методу в возрасте 25...30 и 40...50 лет с последующим проведением в них проходных рубок с уходными мероприятиями за молодым поколением леса.

Ключевые слова: сосняки, рубки ухода, состояние древостоев, биологическая устойчивость

Ссылка для цитирования: Данчева А.В., Залесов С.В. Влияние рубок ухода на биологическую устойчивость сосняков защитного назначения Северного Казахстана // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 4. С. 5–13. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-4-5-13

Устойчивое управление лесами — это целенаправленное, долговременное, экономически выгодное отношение человека к лесным насаждениям [1]. Лес представляет собой сложную биологическую систему и лесоводственные мероприятия, проводимые в нем максимально эффективны для повышения устойчивости и продуктивности лесонасаждений [2–5]. Нерациональное использование потенциала лесных экосистем ведет к деградации ресурсов и утрате уникальных функций леса.

Одним из перспективных направлений исследований в лесном хозяйстве, направленных на всестороннее изучение и познание природы леса, оценку значимости влияния естественных и антропогенных факторов на формирование лесной растительности и прогнозирования будущего состояния лесов является анализ динамики лесных экосистем [6]. Изменения, происходящие в составе экологических систем, биогеоценозов, в природных комплексах, отражающиеся на их продуктивности, а также изменение степени нарушения под влиянием природно-климатических и антропогенных факторов определяют путем их сравнения с ненару-

шенными экосистемами по некоторым признакам и характеристикам, по динамике поддающихся учету изменений [7, 8]. Важное значение в динамике лесов придается их адаптации к условиям изменяющегося климата, в частности, на территориях заметного потепления и увеличения сухости климата, приводящих к развитию аридности, ксерофитизации положительных элементов рельефа.

Основой научных исследований, целью которых является получение достоверной лесоводственно-экологической характеристики лесных насаждений и динамики их изменений под влиянием различных эндо- и экзогенных факторов, остается проведение мониторинга состояния лесов [9–11]. Мониторинг позволяет вовремя обнаружить негативные тенденции в лесных сообществах и в целях сохранения продуцирующих свойств лесных экосистем принять своевременные управленческие меры по восстановлению и поддержанию их биологической устойчивости [12–14].

На лесные насаждения независимо от целевого назначения (эксплуатационные, защитные, резервные леса) и выполняемые ими средообразующие функции оказывают влияние таксационные показатели (возраст, относительная полнота, диаметр стволов на высоте 1,3 м, высота и т. д.) [15, 16].

Основным инструментом регулирования таксационных параметров лесных насаждений и поддержания их санитарного и жизненного состояния являются рубки ухода [17–20]. Теоретическое обоснование рубок ухода связано с такими сложными вопросами, как устойчивость и адаптация лесной экосистемы, особенности взаимоотношений между растениями, механизмы конкуренции, ее оценка и др. [21, 22]. Для подтверждения эффективности рубок ухода с лесоводственной и экономической точек зрения необходим научно обоснованный подход к режиму проведения рубок ухода. Для объективной оценки рубок ухода требуется проведение экспериментов, рассчитанных на длительное время.

Многоцелевое использование лесов требует разработки механизма лесопользования, включающего в себя эффективную систему организации лесохозяйственной деятельности, которая одновременно обеспечивает доходность использования лесных благ и расширенное воспроизводство ресурсов леса [23]. Это актуально для малолесных регионов и стран, в частности для Республики Казахстан, лесистость которой составляет не более 5 %, при этом все леса по целевому назначению отнесены к категории защитных лесных насаждений [24].

Леса в силу своей многофункциональности имеют определяющее значение для продовольственной безопасности, устойчивого развития сельского хозяйства и борьбы с изменением климата [5]. В основном это касается защитных лесных насаждений в жестких климатических условиях, произрастающих на границах своего ареала. К таким насаждениям относят сосняки Казахского мелкосопочника, южный ареал уральских сосновых лесов [24]. В целях формирования устойчивых лесных насаждений, повышения их комплексной продуктивности и выполнения защитных функций в полной мере лесное хозяйство должно разработать комплекс научно обоснованных лесоводственных мероприятий.

На сегодняшний день недостаточно научных работ по изучению влияния рубок ухода на устойчивость и состояние лесных насаждений, динамику их таксационных характеристик, количественные и качественные показатели, успешность возобновления за продолжительный временной период.

Таким образом, очень важно иметь объективные данные о влиянии рубок ухода на состояние лесных насаждений, произрастающих в аридных условиях, на формирование биологически и пожароустойчивых насаждений и эстетически привлекательных ландшафтов.

Цель работы

Цель работы — оценка влияния рубок ухода различной интенсивности на состояние и устойчи-

вость чистых одновозрастных загущенных сосняков в аридных условиях произрастания в пределах Казахского мелкосопочника и разработка на этой основе рекомендаций по их совершенствованию.

Материалы и методы

Объект исследований — чистые по составу одновозрастные естественные сосняки аридных условиях произрастания (группа типов леса С2 — сухой сосняк) государственного национального природного парка (ГНПП) «Бурабай», расположенного в центральной части Казахского мелкосопочника Северо-Казахстанского региона.

Почвы в пределах рассматриваемой территории подзолистые на каменистых дресвянистых супесях [24]. Живой напочвенный покров (ЖНП) состоит в основном из лишайников, проективное покрытие которых составляет 60...70 % общей площади опытного участка. В травянистой растительности преобладают кошачья лапка двудомная (*Antennaria dioica* (L.) Gaerth), очиток едкий (*Sedum acre* L.) и вейник наземный (*Calamagrostis epiglos* L.). Проективное покрытие данных видов не превышает 5...7 %.

Экспериментальный материал собран в июле 2019 г. на восстановленных 21 секции опытного участка № 3 (ОУ-3). Участок заложен в 1949 г. А.А. Вейсманом в 30...35-летних сосняках для дальнейшего проведения анализа влияния рубок ухода различной интенсивности на продуктивность рассматриваемых сосняков. В период с 1960 по 2000 гг. исследования были продолжены А.А. Макаренко.

ОУ-3 включает в себя секции с проведенными на них рубками ухода слабой, умеренной, сильной и очень сильной интенсивности, а также секции, заложенные в качестве контрольных. Секции заложены в 4–5-кратной повторности. При проведении рубок ухода использована следующая классификация интенсивности изреживания: слабая — до 15 %, умеренная — 16...25, сильная — 26...35 и очень сильная — свыше 35 % (по запасу) [25].

Лесотаксационные параметры древостоев и показатели их жизненного состояния определены в соответствии с общепринятыми в лесоводстве методиками [24]. В качестве показателей состояния сосняков использовали относительное жизненное состояние (ОЖС), комплексный оценочный показатель (КОП) или коэффициент напряженности роста и относительную высоту деревьев H/D .

Для оценки ОЖС, определяемой визуально по состоянию стволов и крон отдельно деревьев и древостоев, использовали следующую классификацию: 80...100 % — здоровые; 50...79 поврежденные (ослабленные); 20...49 — сильно поврежденные (сильно ослабленные); 0...19 % — полностью разрушенные (отмирающие).

Т а б л и ц а 1

**Средние значения таксационных показателей с ошибкой в сухих сосняках
ГНПП «Бурабай» в зависимости от интенсивности изреживания**
Average values of taxation indicators with an error in dry pine forests in SNNP «Burabay»
depending on the intensity of thinning

Показатель		Контрольная секция	Интенсивность рубок ухода			
			слабая	умеренная	сильная	очень сильная
Диаметр, см		11,3 ± 0,1	12,6 ± 1,2	13,3 ± 0,4	14,6 ± 0,6	15,3 ± 0,6
Высота, м		12,8 ± 0,3	13,6 ± 1,5	13,8 ± 0,2	14,1 ± 0,4	14,4 ± 0,3
Полнота	абсолютная, м ²	49,8 ± 4,2	43,2 ± 0,2	42,0 ± 1,0	36,9 ± 0,7	36,4 ± 1,0
	относительная	1,5 ± 0,1	1,3 ± 0,1	1,2 ± 0,02	1,1 ± 0,05	1,1 ± 0,02
Запас стволовой древесины, м ³ /га		324,8 ± 28,3	295,5 ± 22,5	293,6 ± 9,6	259,3 ± 3,4	260,7 ± 8,7
Класс бонитета		V, 0 ± 0,0	V, 0 ± 0,0	V, 0 ± 0,0	IV, 8 ± 0,2	IV, 8 ± 0,2
Относительное жизненное состояние, %		40,2 ± 1,7	52,0 ± 3,8	54,8 ± 1,1	56,4 ± 1,0	62,3 ± 0,5
Комплексный оценочный показатель, см/см ²		18, 5 ± 0,6	13,7 ± 1,4	12,1 ± 0,7	10,7 ± 0,3	9,4 ± 0,5
Относительная высота (древостоя), <i>H/D</i>		113,1 ± 3,2	108,2 ± 1,2	104,4 ± 2,8	96,7 ± 2,2	95,1 ± 3,1

Значения КОП для исследуемых сосняков вычисляли по соотношению значений высоты дерева к площади сечения его ствола на высоте 1,3 м. Для оценки состояния сосняков использовали значения КОП, при которых они характеризуются как биологически устойчивые [24]: в древостоях возрастом до 20 лет — 15...25; 20...30 лет — 10...18; 40...70 лет — 5...8 и свыше 100 лет — 2...3 см/см².

Относительную высоту дерева (древостоя) *H/D* рассчитывали, как отношение высоты каждого дерева или средней высоты древостоя (в сантиметрах) к соответствующему диаметру ствола или среднего диаметра древостоя на высоте 1,3 м также в сантиметрах [24]. Критерием оценки устойчивости деревьев отдельно и древостоя в целом служили значения относительной высоты дерева (древостоя) *H/D*: более 100 — показатель напряженности роста деревьев в древостое и критерий, свидетельствующий о необходимости проведения рубок ухода.

Статистическая обработка полученных данных проведена с использованием программы Microsoft Excel.

Результаты и обсуждение

В табл. 1 представлены средние значения основных таксационных показателей и показателей состояния исследуемых сосновых древостоев в зависимости от интенсивности изреживания. Объект исследований представлен чистыми по составу одновозрастными сосняками V класса возраста, класс бонитета — V–Va. Сосняки на

всех секциях являются высокополнотными, со значением относительной полноты от 1,1 до 1,5.

Проведенный анализ динамики таксационных показателей за 70-летний период в сухих сосняках на ОУ-3 под влиянием рубок ухода показал общую закономерность увеличения средних значений высоты и диаметра древостоя с увеличением интенсивности изреживания. На секциях со слабой интенсивностью изреживания средние высота и диаметр древостоя увеличиваются соответственно на 6 и 11 %, на секциях с умеренной интенсивностью изреживания — на 8 и 17, на секциях с сильной интенсивностью изреживания — на 10 и 29, на секциях с очень сильной интенсивностью изреживания — на 12 и 36 % по сравнению с контролем (см. табл. 1).

С увеличением интенсивности изреживания происходит снижение запаса стволовой древесины на всех секциях с проведенными рубками ухода от 9...10 % — при слабой и умеренной до 19...20 % — при сильной и очень сильной интенсивности изреживания. Спустя 70 лет после проведения рубок ухода сосняки характеризуются как высокополнотные, при этом запас стволовой древесины на опытных секциях ниже, чем в древостоях на контрольных участках.

Анализ состояния изучаемых сосняков по средним значениям показателей состояния (ОЖС, КОП), представленных в табл. 1, указывает на общее ослабленное состояние сосняков независимо от интенсивности изреживания. При этом сосняки на контрольных секциях характеризуются как сильно ослабленные.

Т а б л и ц а 2

Распределение количества деревьев и средних значений диаметров по категориям относительного жизненного состояния в зависимости от интенсивности рубок ухода, %/см
Distribution of the trees number and average diameters by categories of relative vitality depending on the intensity of thinning, %/cm

Категории относительного жизненного состояния деревьев*		Контрольная секция	Интенсивность рубок ухода			
			слабая	умеренная	сильная	очень сильная
Отмирающие	количество, %	25,2	8,4	5,4	4,2	1,8
	средний диаметр, см	6,2	7,3	7,9	9,0	8,0
Сильно ослабленные	количество, %	28,9	23,2	20,6	20,4	11,7
	средний диаметр, см	8,0	8,5	9,1	9,5	9,7
Ослабленные	количество, %	42,1	64,0	67,9	70,6	79,7
	средний диаметр, см	13,8	13,6	13,8	15,0	16,0
Здоровые	количество, %	3,8	4,4	6,1	4,8	6,8
	средний диаметр, см	17,3	17,4	17,4	19,3	18,6

*Количество деревьев рассчитано относительно их общего числа.

Несколько иная ситуация наблюдается при анализе показателя относительной высоты древостоя (H/D). Согласно данным табл. 1, рассматриваемый показатель в сосняках на секциях с проведенными рубками ухода сильной и очень сильной интенсивности изреживания составляет менее 100, что дает основание характеризовать их, как биологически устойчивые, без признаков напряженности роста и конкурентных взаимоотношений между деревьями. На секциях с проведенными рубками ухода слабой и умеренной интенсивности изреживания значения H/D сосновых древостоев оставляют 104 и 108 соответственно, что указывает на напряженность роста деревьев в древостое и ослабление его общего состояния.

Обсуждение результатов исследований

Показатель H/D наиболее объективен в оценке состояния и устойчивости древостоев по сравнению с показателями санитарного состояния и ОЖС, определяемыми визуально по внешним признакам стволов и крон деревьев [24]. Поэтому в настоящих исследованиях при оценке влияния рубок ухода на состояние и устойчивость сосняков показатель H/D использован в качестве основного.

По данным исследований влияния рубок ухода слабой и умеренной интенсивности, выполненным в сосновых лесах Казахстана [24] на состояние аналогичных насаждений, произрастающих в очень сухих и свежих лесорастительных условиях, было установлено, что снижение показателей их состояния происходит вследствие наличия в древостое большого количества отставших в росте, сильно ослабленных, угнетенных мелких

деревьев, количество которых может достигать до 50 % от общего числа.

Настоящие исследования подтверждают это (табл. 2).

На контрольной секции количество деревьев, относящихся к категориям состояния отмирающих и сильно ослабленных, составляет около 54 % их общего количества. С увеличением интенсивности рубки количество деревьев рассматриваемых категорий ОЖС снижается в среднем на 40 % — при слабой, на 55...60 — при умеренной и сильной и на 75 % — при очень сильной интенсивности изреживания. В результате количество деревьев категорий отмирающих и сильно ослабленных на секциях с проведенными рубками ухода слабой, умеренной, сильной и очень сильной интенсивности изреживания составляет в среднем 32, 26, 25 и 14 % соответственно.

Средний диаметр стволов деревьев на высоте 1,3 м каждой из рассматриваемых категорий ОЖС с ростом интенсивности рубок ухода увеличивается. Повышение этого показателя за счет вырубki по низовому методу отставших в росте, ослабленных, поврежденных деревьев способствует повышению устойчивости насаждений против антропогенных факторов, в том числе лесных пожаров, а также увеличивают их эстетическую и рекреационную привлекательность.

Для обоснования использования относительной высоты деревьев H/D в качестве объективного показателя состояния исследуемых сосняков и критерия для назначения и проведения в них рубок ухода в целях формирования биологически устойчивых насаждений была предпринята попытка оценки тесноты взаимосвязи показателя H/D с показателем ОЖС. Это обусловило проведение распределения средних значений относи-

тельной высоты дерева H/D по категориям ОЖС в зависимости от интенсивности рубок ухода (табл. 3).

Т а б л и ц а 3
Изменение средних значений показателя H/D деревьев различных категорий относительного жизненного состояния в зависимости от интенсивности рубок ухода
Changes in the average values of the H/D index for trees of various relative vitality categories depending on the intensity of thinning

Категории относительного жизненного состояния деревьев	Контрольная секция	Интенсивность рубок ухода			
		слабая	умеренная	сильная	очень сильная
Отмирающие	137,1	130,1	123,5	121,5	124,3
Сильно ослабленные	127,8	126,1	118,7	119,8	112,6
Ослабленные	103,8	104,4	102,3	96,6	91,4
Здоровые	91,6	90,6	90,2	80,8	84,1

Деревья в категориях сильно ослабленные и отмирающие характеризуются средним значением показателя H/D более 100 (его значение обычно находится в пределах от 113 до 137), следовательно, это биологически неустойчивые деревья и они могут влиять на увеличение напряженности роста деревьев и снижение ОЖС древостоя в целом, в зависимости от их количества в древостое. Это наиболее характерно для сосняков на контрольных секциях. Ослабленные деревья имеют значения H/D выше 100 на контрольных секциях и секциях с проведенными рубками ухода слабой и умеренной интенсивности изреживания. Значение показателя H/D здоровых деревьев на всех секциях не превышает 100, что свидетельствует об их достаточно высокой устойчивости.

Т а б л и ц а 4
Соотношение общего количества деревьев в древостое по показателю относительной высоты H/D в зависимости от интенсивности рубок ухода

The ratio of the total number of trees in the forest stand in terms of relative height H/D depending on the intensity of thinning

Показатель H/D , отн. ед.	Контрольная секция	Интенсивность рубок ухода			
		слабая	умеренная	сильная	очень сильная
$H/D > 100$	69,0	77,1	66,4	56,2	30,1
$H/D < 100$	31,0	22,9	33,6	43,8	69,9

На средние значения показателя H/D сосновых древостоев в целом и по каждой категории ОЖС в отдельности большое влияние оказывает соотношение деревьев со значением показателя H/D менее и более 100 после проведения в них рубок ухода слабой, умеренной, сильной и очень сильной интенсивности изреживания.

Согласно данным табл. 4, соотношение общего количества деревьев с показателем относительной высоты деревьев H/D более и менее 100 изменяется в зависимости от интенсивности рубок ухода.

Наибольшим количеством деревьев со значением показателя H/D менее 100 характеризуются сосняки после проведения в них рубок ухода очень сильной интенсивности изреживания (соотношение количества деревьев со значением показателя $H/D > 100$ к деревьям со значением показателя $H/D < 100$ составляет 30:70). При всех других анализируемых интенсивностях рубок ухода (слабой, умеренной и сильной) отмечается преобладание деревьев с показателем H/D более 100. Наибольшее количество таких деревьев наблюдается на контрольных секциях (соотношение деревьев со значением показателя $H/D > 100$ к деревьям со значением показателя $H/D < 100$ составляет 69:31). Приведенные данные подтверждают полученные общие значения относительной высоты древостоев H/D (см. табл. 1).

Более детально изменение количества деревьев с показателями $H/D > 100$ и $H/D < 100$ под влиянием рубок ухода различной интенсивности изреживания представлено на рис. 1 и 2.

С увеличением интенсивности рубок ухода происходит снижение количества деревьев со значением относительной высоты деревьев $H/D > 100$ в категориях ОЖС отмирающие, сильно ослабленные и ослабленные (см. рис. 1) и увеличение количества деревьев со значением показателя $H/D < 100$ в категориях ОЖС здоровые и ослабленные (см. рис. 2). Теснота описываемым взаимосвязей подтверждается достаточно высоким коэффициентом аппроксимации ($R^2 = 0,93 \dots 0,96$).

При оценке состояния изучаемых сосняков большое внимание следует уделять количеству деревьев со значением показателя $H/D > 100$ и $H/D < 100$ в категории состояния ослабленные, поскольку на всех секциях, за исключением контрольной, в древостое преобладают деревья данной категории. Как показали исследования, с увеличением интенсивности рубок ухода происходит снижение количества деревьев в рассматриваемой категории ОЖС со значением показателя $H/D > 100$ и увеличением числа деревьев со значением показателя $H/D < 100$.

По анализу полученных данных можно утверждать, что в загущенных сосняках сухих условий произрастания в Северном Казахстане после про-

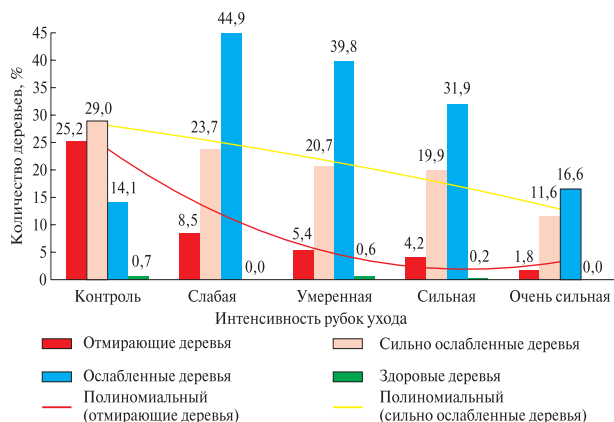


Рис. 1. Распределение деревьев различных категорий относительного жизненного состояния с показателем $H/D > 100$ в зависимости от интенсивности рубок ухода, %

Fig. 1. Distribution of trees of different categories of relative life condition with $H/D > 100$ depending on the intensity of thinning, %

ведения рубки ухода по низовому методу деревья, характеризующиеся категорией ОЖС как ослабленные без внешних признаков повреждений и показателем относительной высоты деревьев $H/D < 100$ можно относить к категории здоровых деревьев.

Выводы

За 70-лентий период исследований в загущенных сосняках сухих условий произрастания Северного Казахстана (на примере ГНПП «Бурабай») под влиянием рубок ухода слабой, умеренной, сильной и очень сильной интенсивности происходит увеличение средних диаметров стволов и высот древостоев. В большей степени эти изменения проявляются в показателе среднего диаметра стволов деревьев на высоте 1,3 м, который увеличивается на 11...36 % в сравнении с контролем. Значение средней высоты древостоя при этом увеличивается на 6...12 %.

Увеличение среднего диаметра стволов на высоте 1,3 м и высоты сосняков на секциях пройденных рубками ухода происходит в результате вырубки отставших в росте, ослабленных и поврежденных деревьев. Максимальными средними диаметрами стволов характеризуются древостои, пройденные рубками ухода сильной и очень сильной интенсивности по низовому методу.

Древостои на всех секциях с проведенными рубками являются высокополнотными с варьированием значения относительной полноты от 1,3 при слабой интенсивности изреживания до 1,1 при очень сильной интенсивности изреживания.

Спустя 70 лет после рубки запас стволовой древесины на опытных секциях оказался ниже аналогичного показателя в древостоях на контрольных секциях. С увеличением интенсивно-

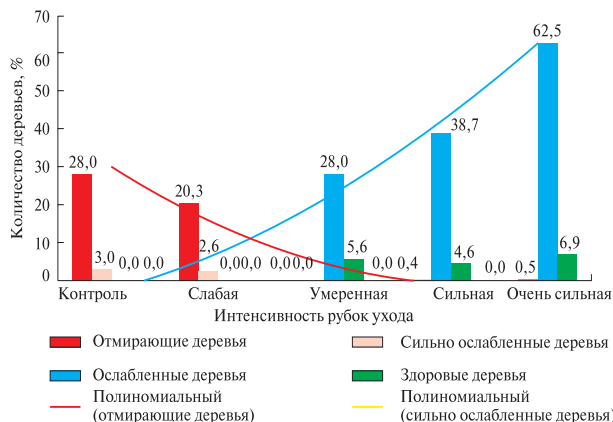


Рис. 2. Распределение деревьев различных категорий относительного жизненного состояния со значением показателя $H/D < 100$ в зависимости от интенсивности рубок ухода, %

Fig. 2. Distribution of trees of various categories of relative vitality with the value of the indicator $H/D < 100$, depending on the intensity of thinning, %

сти изреживания происходит снижение запаса сосняков на 9...10 % при проведении рубок ухода слабой и умеренной интенсивности изреживания и на 19...20 % при сильной и очень сильной интенсивности изреживания.

Высокие показатели относительной полноты исследуемых сосняков, значения которой достигали 1,5, а также результаты ранее проведенных исследований [24] в сосняках сухих и свежих лесорастительных условий указывают на необходимость уточнения стандартных таблиц сумм площадей поперечных сечений нормальных древостоев и запасов стволовой древесины сосняков Казахского мелкосопочника.

С увеличением интенсивности рубок ухода в загущенных сосняках Казахского мелкосопочника, произрастающих в сухих лесорастительных условиях, отмечается увеличение также средних значений показателей, как ОЖС, КОП и H/D .

Установлено, что более точным и достоверным, по сравнению с показателями ОЖС и КОП, в оценке состояния сосновых насаждений является показатель относительной высоты деревьев H/D .

Экспериментально доказано, что показатель относительной высоты деревьев H/D можно использовать в качестве критерия оценки биологической устойчивости сухих сосновых насаждений Казахского мелкосопочника. С учетом показателя ОЖС показатель относительной высоты позволяет объективно оценить состояние сосняков и определить целесообразность проведения в них рубок ухода.

Специфика роста и развития загущенных сосняков исследуемого региона должна стать основой для индивидуального подхода к организации и ведению лесного хозяйства в них с учетом целевого назначения. В связи с этим необходима

разработка такого режима лесохозяйственных мероприятий, который в наибольшей мере способствовал бы формированию устойчивых сосняков, всецело выполняющих защитные функции на протяжении всего периода их жизни.

Для формирования биологически устойчивых чистых сосняков сухих условий произрастания необходимо проведение в них одного-двух приемов рубок ухода по низовому методу. В возрасте 25...30 лет предлагается проводить первый прием рубок ухода интенсивностью 26...35 % и в возрасте 40...50 лет проведение второго приема рубок ухода интенсивностью 26...35 % по запасу со снижением относительной полноты древостоя до 0,7...0,8. В последующий после рубок ухода период рекомендуется проводить (в зависимости от необходимости) санитарные рубки в сочетании с мероприятиями по уходу за подростом

Список литературы

- [1] Степаненко И.И. Критерии и индикаторы роста, продуктивности лесных насаждений при их интенсивном выращивании // ИВУЗ Лесной журнал, 2015. № 4. С. 18–29.
- [2] Коротков С.А., Стоноженко Л.В., Киселева В.В., Глазнов Ю.Б. Влияние экологических и социально-экономических факторов на формирование лесов Подмосковья // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем, 2020. Т. 31. № 1–2. С. 90–115.
- [3] Тимашук Д.А., Потапова Э.Н. Лесоводственная оценка сосновых насаждений в зоне рекреационного воздействия в Воронежской области // Лесотехнический журнал, 2016. Т. 6. № 1 (21). С. 53–61.
- [4] Матвеев С.М. Дендроиндикация динамики состояния сосновых насаждений Центральной лесостепи: монография. Воронеж: Изд-во Воронежского ГУ, 2003. 272 с.
- [5] Бельх О.А. Реализация принципов устойчивого управления лесными системами в Иркутской области // Лесной и химический комплексы — проблемы и решения. Сб. материалов по итогам Всерос. науч.-практ. конф., Красноярск, 02–04 сентября 2019 г. Красноярск: Изд-во Сибирского государственного университета науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, 2019. С. 420–424.
- [6] Данчева А.В., Залесов С.В. Современное состояние высокополнотных сосняков рекреационного назначения в Баянаульском ГНПП // Лесной вестник. Forestry Bulletin, 2017. Т. 21. № 1. С. 14–20. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-1-14-20
- [7] Уткин А.И. Леса Республики Саха (Якутия) — феномен таежного пояса Северной Евразии // Хвойные бореальные зоны, 2006. Т. 23. № 3. С. 7–14.
- [8] Шиятов С.Г., Мазепа В.С. Климатогенная динамика лесотундровой растительности на Полярном Урале // Лесоведение, 2007. № 6. С. 11–22.
- [9] Желдак В.И. Проблемы и перспективы развития лесоводства // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование, 2021. № 3 (51). С. 5–27.
- [10] Телеснина В.М., Семенюк О.В., Богатырев Л.Г., Бенедиктова А.И. Особенности напочвенного покрова и лесных подстилок в искусственных липовых насаждениях в зависимости от характера ухода // Вестник Московского университета. Сер. 17: Почвоведение, 2018. № 2. С. 3–11.
- [11] Суслов А.В., Нагимов З.Я., Корелина А.А. Организация мониторинга насаждений в лесопарках города Екатеринбурга с применением математико-статистических методов // Успехи современного естествознания, 2021. № 6. С. 35–41. DOI: 10.17513/use.37638
- [12] Казанцева М.Н. Мониторинг состояния растительного покрова пригородных сосняков г. Тюмени // Экологический мониторинг и биоразнообразие, 2016. № 1 (11). С. 47–51.
- [13] Ильинцев А.С., Шамонтьев И.Г., Третьяков С.В. Современная динамика лесопользования в бореальных лесах России (на примере Архангельской области) // Лесотехнический журнал, 2021. Т. 11. № 3 (43). С. 45–62. DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2021.3/4>
- [14] Данчева А.В. Трансформация лесной подстилки сосновых насаждений Казахского мелкосопочника под влиянием антропогенного фактора // Экосистемы, 2021. № 26. С. 33–42.
- [15] Иванов В.В., Борисов А.Н., Петренко А.Е. Оптимизация густоты сосновых древостоев Восточного Прибайкалья // Сибирский лесной журнал, 2018. № 5. С. 54–61.
- [16] Залесов С.В., Данчева А.В., Эбель А.В., Эбель Е.И. Лесоводственная эффективность рубок ухода в сосняках Казахского мелкосопочника // ИВУЗ Лесной журнал, 2016. № 3 (351). С. 21–30.
- [17] Мусин Х.Г. Эффективность ландшафтных рубок в рекреационных лесах // Вестник БГАУ, 2013. № 2. С. 115–117.
- [18] Данчева А.В., Панкратов В.К. Оценка эффективности рубок ухода в сухих сосняках Казахского мелкосопочника // ИВУЗ Лесной журнал, 2021. № 2. С. 45–55. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-2-45-55
- [19] Seiwa K., Eto Y., Hishita M., Masaka K. Effects of Thinning Intensity on Species Diversity and Timber Production in a Conifer (*Cryptomeria japonica*) Plantation in Japan // J. of Forest Research, 2012, v. 17, iss. 6, pp. 468–478. DOI: 10.1007/s10310-011-0316-z
- [20] Utsugi E., Kanno H., Ueno N., Tomita M., Saitoh T., Kimura M., Kanou K., Seiwa K. Hardwood Recruitment into Conifer Plantations in Japan: Effects of Thinning and Distance from Neighboring Hardwood Forests // Forest Ecology and Management, 2006, v. 237, iss. 1–3, pp. 15–28. DOI: 10.1016/j.foreco.2006.09.011
- [21] Эбель А.В., Эбель Е.И., Залесов С.В., Муқанов Б.М. Влияние полноты и густоты на рост сосновых древостоев Казахского мелкосопочника и эффективность рубок ухода в них. Екатеринбург: Изд-во УГЛТУ, 2014. 221 с.
- [22] Абузов А.В., Рябухин П.Б. Технологии промежуточных рубок на труднодоступных территориях // ИВУЗ Лесной журнал, 2021. № 4. С. 117–130. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-4-117-130
- [23] Минниханов Р.Н., Мусин Х.Г., Мартынова М.В. О концепции воспроизводства и лесопользования в малолесных регионах // Вестник Алтайского государственного аграрного университета, 2017. № 4 (150). С. 81–85.
- [24] Данчева А.В. Повышение рекреационной устойчивости и привлекательности сосновых лесов Казахстана: дис. ... д-ра с.-х. наук. Уфа, 2018. 515 с.
- [25] Макаренко А.А., Муқанов Б.М. Рубки ухода в сосняках Казахстана. Алматы: Бастау, 2002. 219 с.

Сведения об авторах

Данчева Анастасия Васильевна[✉] — д-р с.-х. наук, профессор ФГБОУ ВО «Государственный аграрный университет Северного Зауралья», dancheva.av@gausz.ru

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

Поступила в редакцию 28.01.2022.

Одобрено после рецензирования 04.04.2022.

Принята к публикации 18.05.2022.

INFLUENCE OF THINNING ON PROTECTIVE PINERIES BIOSUSTAINABILITY IN NORTHERN KAZAKHSTAN

A.V. Dancheva^{1✉}, S.V. Zalesov²

¹Northern Trans-Urals State Agricultural University, 7, Respubliki st., 625003, Tyumen, Russia

²Ural State Forest Engineering University, 37, Sibirsky tract st., 620100, Ekaterinburg, Russia

dancheva.av@gausz.ru

The article presents the results of thinnings in pineries of the Kazakh uplands in Northern Kazakhstan carried out for an over 70-year period and their influence on biosustainability (on the example of the state national natural park «Burabay»). The research objects are high-density mature pine forests growing in dry forest conditions. The results of research have shown that to the average values of the vital status indicator (VSI), the complex estimated indicator (CEI) and the tree slenderness coefficient (H/D), pine stands in most sections are characterized as «weakened». In forest stands after thinning of strong and very strong intensity of thinning in terms of tree slenderness coefficient (H/D) the pine forests is assessed as healthy. It is proved that the vital status maximum credible indicators of the pine forests and the implementation of forestry practices in them is the tree slenderness coefficient. The largest number of trees (up to 70 % of the total number of trees) with tree slenderness coefficient an H/D value of less than 100 in the pine forest after very high intensity thinning is evaluated. A large number of trees with $H/D < 100$ in the forests proves a weak competition between trees in the forests and higher resistance to natural and anthropogenic factors are proved. The data obtained show a positive effect of strong thinning on the increase in the radial growth of pine trees. For formation of sustainable pine forests in dry growing conditions in Northern Kazakhstan with thinning one-two steps with 26–35 % of the stock volumes destruction at the age of 25–30 years and 40–50 years, and with subsequent increment felling in them is recommended.

Keywords: pine forests, thinning, vital status, biological stability

Suggested citation: Dancheva A.V., Zalesov S.V. *Vliyanie rubok ukhoda na biologicheskuyu ustoychivost' sosnyakov zashchitnogo naznacheniya Severnogo Kazakhstana* [Influence of thinning on protective pineries biosustainability in Northern Kazakhstan]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 4, pp. 5–13.


DOI: 10.18698/2542-1468-2022-4-5-13

References

- [1] Stepanenko I.I. *Kriterii i indikatory rosta, produktivnosti lesnykh nasazhdeniy pri ikh intensivnom vyrashchivanii* [Criteria and Indicators of Growth, Productivity of Forest Stands Under Their Intensive Cultivation]. *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2015, no. 4, pp. 18–29.
- [2] Korotkov S.A., Stonozhenko L.V., Kiseleva V.V., Glazunov Yu.B. *Vliyanie ekologicheskikh i sotsial'no-ekonomicheskikh faktorov na formirovanie lesov Podmoskov'ya* [Influence of environmental and socio-economic factors on the formation of forests near Moscow]. *Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem* [Problems of environmental monitoring and modeling of ecosystems], 2020, t. 31, no. 1–2, pp. 90–115.
- [3] Timashchuk D.A., Potapova E.N. *Lesovodstvennaya otsenka sosnovykh nasazhdeniy v zone rekreatsionnogo vozdeystviya v Voronezhskoy oblasti* [Silvicultural assessment of pine plantings in the zone of recreational influence in the Voronezh region]. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forest Engineering Journal], 2016, v. 6, no. 1 (21), pp. 53–61.
- [4] Matveev S.M. *Dendroindikatsiya dinamiki sostoyaniya sosnovykh nasazhdeniy Tsentral'noy lesostepi* [Dendroindication of dynamics of forest health in the Central forest-steppe]. Voronezh: VGU, 2003, 269 p.
- [5] Belykh O.A. *Realizatsiya printsipov ustoychivogo upravleniya lesnymi sistemami v Irkutskoy oblasti* [Implementation of the principles of sustainable management of forest systems in the Irkutsk region]. *Lesnoy i khimicheskii komplekсы — problemy i resheniya. Sbornik materialov po itogam Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Krasnoyarsk, 02–04 sentyabrya 2019 goda* [Forest and chemical complexes — problems and solutions. Collection of materials on the results of the All-Russian scientific and practical conference, Krasnoyarsk, September 02–04, 2019]. Krasnoyarsk: Siberian State University of Science and Technology named after Academician M.F. Reshetneva, 2019, pp. 420–424.
- [6] Dancheva A.V., Zalesov S.V. *Sovremennoe sostoyanie vysokopolnotnykh sosnyakov rekreatsionnogo naznacheniya v Bayanaul'skom GNPP* [The current state of high-density recreational pine forest in the «Bayanaul» SNNP]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2017, v. 21, no. 1, pp. 14–20. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-1-14-20

- [7] Utkin A.I. *Lesy Respubliki Sakha (Yakutiya) — fenomen taezhnogo poyasa Severnoy Evrazii* [Forests of the Republic of Sakha (Yakutia) — the phenomenon of the taiga belt of Northern Eurasia]. *Khvoynnye boreal'nye zony* [Coniferous boreal zones], 2006, t. 23, no. 3, pp. 7–14.
- [8] Shiyatov S.G., Mazepa V.S. *Klimatogennaya dinamika lesotundrovoy rastitel'nosti na Polyarnom Urale* [The Climatogenic Dynamics of Forest-Tundra Vegetation in the Polar Urals]. *Lesovedenie* [Forestry], 2007, no. 6, pp. 11–22.
- [9] Zheldak V.I. *Problemy i perspektivy razvitiya lesovodstva* [Problems and prospects for the development of forestry]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie* [Bulletin of the Volga State Technological University. Series: Forest. Ecology. Nature management], 2021, no. 3 (51), pp. 5–27.
- [10] Telesnina V.M., Semenyuk O.V., Bogatyrev L.G., Benediktova A.I. *Osobennosti napochvennogo pokrova i lesnykh podstilok v iskusstvennykh lipovykh nasazhdeniyakh v zavisimosti ot kharaktera ukhoda* [Features of a ground cover and forest litter of artificial lime plantations depending on the nature of care]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 17: Pochvovedenie* [Moscow University Soil Science Bulletin], 2018, no. 18, pp. 3–11.
- [11] Suslov A.V., Nagimov Z.Ya., Korelina A.A. *Organizatsiya monitoringa nasazhdeniy v lesoparkakh goroda Ekaterinburga s primeneniem matematiko-statisticheskikh metodov* [Organization of monitoring of plantings in forest parks of the city of Yekaterinburg with the use of mathematical and statistical methods]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Advances in current natural sciences], 2021, v. 6, no. 1, pp. 35–41. DOI: 10.17513/use.37638
- [12] Kazantseva M.N. *Monitoring sostoyaniya rastitel'nogo pokrova prigorodnykh sosnyakov g. Tyumeni* [The monitoring of vegetation cover in suburban pine forests of the town of Tyumen]. *Ekologicheskii monitoring i bioraznoobrazie* [Ecological monitoring and biodiversity], 2016, no. 1 (11), pp. 47–51.
- [13] Il'intsev A.S., Shamont'ev I.G., Tret'yakov S.V. *Sovremennaya dinamika lesopol'zovaniya v boreal'nykh lesakh Rossii (na primere Arkhangel'skoy oblasti)* [Modern dynamics of forest use in the boreal forests of Russia (for example of the Arkhangelsk region)]. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forest Engineering journal], 2021, vol. 11, no. 3(43), pp. 45–62. DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2021.3/4>
- [14] Dancheva A.V. *Transformatsiya lesnoy podstilki sosnyokh nasazhdeniy Kazakhskogo melkosopchnika pod vliyaniem antropogennogo faktora* [Anthropogenic transformation of the forest litter of pine forests of the Kazakh Upland]. *Ekosistemy* [Ecosystems], 2021, v. 26, pp. 33–42.
- [15] Ivanov V.V., Borisov A.N., Petrenko A.E. *Optimizatsiya gustomy sosnyokh drevostoev Vostochnogo Pribaykal'ya* [Optimization of pine stand density in the Eastern CisBaikalia]. *Sibirskiy lesnoy zhurnal* [Sib. J. For. Sci.], 2018, no. 5, pp. 54–61. DOI: 10.15372/SJFS20180505
- [16] Zalesov S.V., Dancheva A.V., Ebel' A.V., Ebel' E.I. *Lesovodstvennaya effektivnost' rubok ukhoda v sosnyakakh Kazakhskogo melkosopchnika* [Silvicultural effectiveness of improvement cutting in the pine forests of Kazakh Upland]. *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2016, no. 3(351), pp. 21–30.
- [17] Musin Kh.G. *Effektivnost' landshaftnykh rubok v rekreatsionnykh lesakh* [Efficiency of Landscape Cabins in the Recreational Woods]. *Vestnik BGAU* [Vestnik BSAU], 2013, no. 2, pp. 115–117.
- [18] Dancheva A.V., Pankratov V.K. *Otsenka effektivnosti rubok ukhoda v sukhikh sosnyakakh Kazakhskogo melkosopchnika* [Evaluation of Thinning Efficiency in Pineries of Dry Forest Sites of the Kazakh Uplands]. *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2021, no. 2, pp. 45–55. DOI: 10.17238/0536-1036-2021-2-45-55
- [19] Seiwa K., Eto Y., Hishita M., Masaka K. *Effects of Thinning Intensity on Species Diversity and Timber Production in a Conifer (Cryptomeria japonica) Plantation in Japan*. *J. of Forest Research*, 2012, v. 17, iss. 6, pp. 468–478. DOI: 10.1007/s10310-011-0316-z
- [20] Utsugi E., Kanno H., Ueno N., Tomita M., Saitoh T., Kimura M., Kanou K., Seiwa K. *Hardwood Recruitment into Conifer Plantations in Japan: Effects of Thinning and Distance from Neighboring Hardwood Forests*. *Forest Ecology and Management*, 2006, v. 237, iss. 1–3, pp. 15–28. DOI: 10.1016/j.foreco.2006.09.011
- [21] Ebel' A.V., Ebel' E.I., Zalesov S.V., Mukanov B.M. *Vliyaniye polnoty i gustomy na rost sosnyokh drevostoev Kazakhskogo melkosopchnika i effektivnost' rubok ukhoda v nikh* [The influence of fullness and density on the growth of pine stands of the Kazakh uplands and the effectiveness of thinning in them: a monograph]. *Yekaterinburg: Ural State Forest Engineering University*, 2014, 221 p.
- [22] Abuzov A.V., Ryabukhin P.B. *Tekhnologii promezhutochnykh rubok na trudnodostupnykh territoriyakh* [Technologies of Intermediate Felling in Difficult to Access Areas]. *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2021, no. 4, pp. 117–130. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-4-117-130
- [23] Minnikhanov R.N., Musin Kh.G., Martynova M.V. *O kontseptsii vosproizvodstva i lesopol'zovaniya v malolesnykh regionakh* [On the concept of forest reproduction and management in sparsely wooded regions]. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Vestnik of the Altai State Agricultural University], 2017, no. 4 (150), pp. 81–85.
- [24] Dancheva A.V. *Povysheniye rekreatsionnoy ustoychivosti i privlekatel'nosti sosnyokh lesov Kazakhstana* [Increasing the recreational sustainability and visual appeal of the pine forests of Kazakhstan]. *Dis. ... Dr. Sci. (Agric.)*. Ufa, 2018, 515 p.
- [25] Makarenko A.A., Mukanov B.M. *Rubki ukhoda v sosnyakakh Kazakhstana* [Thinning in Pine Forests of Kazakhstan]. *Almaty: Bastau*, 2002, 219 p.

Authors' information

Dancheva Anastasiya Vasil'yevna  — Dr. Sci. (Agriculture), Professor of the Northern Trans-Urals State Agricultural University, dancheva.av@gausz.ru

Zalesov Sergey Veniaminovich — Dr. Sci. (Agriculture), Professor, Head of the Department of Forestry, Northern Trans-Urals State Agricultural University, zalesov@usfeu.ru

Received 28.01.2022.

Approved after review 04.04.2022.

Accepted for publication 18.05.2022.

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

ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ КОРНЕВОЙ СИСТЕМЫ ЕЛИ СИБИРСКОЙ (*PICEA OBOVATA*) ПРИ РАЗНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ ВЫРАЩИВАНИЯ

Р.А. Третьякова, О.В. Паркина[✉], О.Е. Якубенко

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный университет», 630039, г. Новосибирск, ул. Добролюбова, д. 160
Parkinaoksana@yandex.ru

Проведена оценка развития корневой системы ели сибирской (*Picea obovata*) при разных технологиях выращивания на территории учебно-производственного хозяйства «Сад Мичуринцев» Новосибирской обл. Установлена изменчивость биометрических показателей саженцев в зависимости от способа выращивания посадочного материала, в частности, с открытой корневой системой с пересадкой без перешколивания и при последующей посадке в контейнеры для получения крупномеров. Анализ данных показал, что у саженцев, выращиваемых с закрытой корневой системой в течение пяти лет отмечено угнетение развития боковых корней и уменьшение числа всасывающих волосков, что приводит к ухудшению усвоения питательных элементов из субстрата и замедлению процессов жизнедеятельности растения в целом. Установлено, что при перешколивании на пятый год отмирает главный корень и активно развиваются боковые корни, а это способствует увеличению площади освоения почвы и улучшению питания саженцев. Изучена доля влияния гидротермических условий на рост и развитие саженцев ели сибирской (*Picea obovata*). Определена существенная зависимость формирования корневой системы и характера наступления феноритмов от условий произрастания. **Ключевые слова:** ель сибирская (*Picea obovata*), корневая система, технология выращивания, главный корень, боковые корни

Ссылка для цитирования: Третьякова Р.А., Паркина О.В., Якубенко О.Е. Особенности развития корневой системы ели сибирской (*Picea obovata*) при разных технологиях выращивания // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 4. С. 14–20. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-4-14-20

Получение качественного посадочного материала и повышение эффективности лесовосстановления являются важными составляющими отрасли лесного хозяйства [1]. Особенности развития хвойных пород базируются на элементах технологии производства посадочного материала с возможностью сокращения срока выращивания и максимальным выходом качественных саженцев с единицы площади [2].

Саженцы ели характеризуются высокой приживаемостью за счет морфобиологических особенностей вида, не требуют интенсивного агротехнического ухода, что позволяет добиться высокой продуктивности искусственных насаждений [3]. При подборе посадочного материала следует учитывать особенности и место произрастания древесной породы [4].

Ель сибирская (*Picea obovata*) формирует как чистые, так и смешанные насаждения со многими хвойными и широколиственными видами: сосной, кедром, лиственницей, пихтой, дубом [5, 6]. Это достаточно теневыносливый и холодоустойчивый вид, способный выдерживать температуру до $-45,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ [7, 8]. Произрастает в северо-восточных районах европейской части РФ, на Урале, в Западной Сибири [9, 10]. Представляет собой дерево с узкопирамидальной или пирамидальной кроной, высотой до 30 м и диаметром ствола до 70 см.

Хвоя — от 0,7 до 2 см длиной, шишки — от 4 до 8 см длиной, масса 1000 семян — около 5 г [11]. Количество семян в шишках длиной от 50 до 70 мм составляет от 70 до 100 шт. [12].

В зависимости от технологии производства посадочный материал древесных пород подразделяется на посадочный материал с корневой системой открытого типа (ОКС) и посадочный материал с корневой системой закрытого типа (ЗКС).

Особенности выращивания саженцев ЗКС позволяют модернизировать этапы производства посадочного материала и обеспечить высокий процент приживаемости саженцев [13]. Посадочный материал с ЗКС имеет некоторые преимущества не только при непосредственном выращивании [14], но и при реализации и транспортировке в течение года, что определяет высокую мобильность и экономичность для предприятий и организаций лесной отрасли [15].

Необходимо разрабатывать способы и технологии выращивания посадочного материала в открытом грунте и с закрытой корневой системой с учетом конкретных почвенно-климатических условий региона и биологических особенностей пород. Элементы технологии должны включать в себя в первую очередь систему научнообоснованных агротехнических приемов, выполняемых в определенной последовательности и позволяющих создавать благоприятные условия роста.

Цель работы

Цель работы — изучение особенностей развития корневых систем ели сибирской (*Picea obovata*) при различных технологиях выращивания.

Объекты и методы исследования

Ель сибирская характеризуется наличием поверхностной корневой системы [10]. В результате формирования плотной низкоопущенной кроны ветви могут укореняться, образуя эпигеогенный тип корня [16].

Есть несколько работ о динамике роста корневых систем ели сибирской. Изучением данного вопроса занимались Г.Г. Терехов, Н.А. Луганский, Н.И. Стародубцева. В своих работах эти исследователи привели результаты изучения морфологического состояния самосева и подроста ели сибирской [17], формирования корневой системы ели в 1–5-летних культурах [18]. Однако еще недостаточно изучена зависимость роста надземной части растения в сочетании с ростом корневой системы у сеянцев и саженцев от технологии выращивания и экологических факторов.

Объект исследования — саженцы ели сибирской с ОКС и ЗКС.

Многолетние исследования проведены на территории учебно-производственного хозяйства (УПХ) «Сад Мичуринцев» ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный университет» (далее УПХ «Сад Мичуринцев»).

Климат Новосибирской обл. характеризуется как континентальный. Годовая сумма осадков составляет около 400...500 мм, преобладает юго-западное направление ветра, продолжительность вегетации в среднем — 155 сут, снежный покров сохраняется около 170 сут, высота снежного покрова — от 35 до 60 см, безморозный период — от 90 до 140 сут. [19].

Опытный участок расположен в дренированной лесостепи на склоне Приобского плато. Почвы — серые лесные тяжелосуглинистые, на бескарбонатном тяжелом суглинке, характеризуются средним содержанием гумуса в количестве 3,72 %, реакция среды — слабокислая (рН = 6,5), обеспеченность нитратным азотом — низкая (6,8 мг/кг), подвижным фосфором — повышенная (272 мг/кг), подвижным калием — средняя (168 мг/кг) (рис. 1).

Исследования проводили двумя методами: прямыми наблюдениями на постоянных пробных площадях и дальнейшей статистической обработки, позволяющей рассмотреть динамику формирования корневой системы ели сибирской при разных условиях выращивания в большом временном диапазоне. Участки саженцев с ОКС и ЗКС были заложены в 2015 г.



Рис. 1. Размещение участков в учебно-производственном хозяйстве «Сад Мичуринцев»: 1 — саженцы с открытым типом корневой системы; 2 — саженцы с закрытым типом корневой системы

Fig. 1. Site's location in the educational and production facility «Michurintsev Garden»: 1 — transplant with an open root system; 2 — transplant with a closed root system

Методы количественного учета основаны на выемке почвенных образцов определенного размера, с последующими выделением подземных органов, их отмывкой от почвы и количественным учетом, поскольку они не дают достаточно полного представления об особенностях строения, развития и залегания подземных частей растений, взаимоотношениях корневых систем разных растений [20, 21].

Использование современных методов, надлежащий агротехнический уход повышают продуктивность насаждений [22, 23].

Результаты и обсуждение

Ель сибирская характеризуется развитием горизонтальной корневой системы в верхнем, рыхлом, слое почвы, в условиях хорошей аэрации [24]. Формирование ОКС и ЗКС обусловлено наличием особенностей. Корневая система открытого типа представлена разветвленными боковыми корнями второго и последующих порядков с большим количеством всасывающих волосков, с угнетением главного корня. При выращивании саженцев с ЗКС отмечается отмирание боковых корней и всасывающих волосков (рис. 2).

Оптимальное соотношение надземной части растений и корневой системы, ассимиляционного аппарата (транспирирующей массы) и всасывающих корней наблюдается у саженцев ели при раннем перешколивании [25].

Проведены анализ изменения биометрических показателей посадочного материала, измерения главного корня, боковых и придаточных корней в школьном отделении, предназначенном для выращивания саженцев с ОКС (табл. 1).

Высота саженцев с открытой корневой системой составляет в среднем 79,6 см, коэффициент вариации — 11 %; диаметр стволика — 2,2 см,



Рис. 2. Корневая система саженца ели сибирской: *a* — открытого типа; *б* — закрытого типа
 Fig. 2. The root system of a Siberian spruce seedling: *a* — bare-root type; *б* — root-balled type

Т а б л и ц а 1

Биометрические показатели саженцев ели сибирской с развитием корневой системы открытого типа

Biometric indicators of Siberian spruce seedlings with the development of a bare-root system

Параметр	Значения, см			Среднее квадратическое отклонение, σ	Коэффициент вариации, CV , %
	mid	max	min		
Высота саженца	79,6	93,0	73,0	8,73	10,97
Диаметр стволика	2,2	2,4	1,9	0,19	8,82
Длина кроны	71,2	79,0	65,0	6,42	9,02
Диаметр кроны	55,4	62,0	47,0	6,50	11,74
Прирост осевого побега	31,0	40,0	24,0	6,78	21,88
Боковой прирост	16,4	16,4	13,0	2,30	14,04
Длина главного корня	28,6	28,6	14,0	10,29	35,96
Диаметр главного корня	1,6	2,1	0,7	0,54	34,40
Длина боковых корней	21,2	26,2	16,8	3,69	17,40
Длина корневых волосков	14,7	21,0	8,3	4,55	31,03

коэффициент вариации — 9 %. Длина главного корня составляет в среднем 28,6 см; длина боковых корней в почвенном слое — 21,2 см.

Проведены также измерения главного корня, боковых и придаточных корней в отделении, предназначенном для выращивания крупномерных саженцев с ЗКС (табл. 2).

Высота саженцев с ЗКС составляет в среднем 73,2 см, коэффициент вариации — 11 %; диаметр стволика — 2,2 см, коэффициент вариации — 6 %. Длина главного корня составляет в среднем 24,0 см; длина боковых корней в почвенном слое — 37,6 см.

Между полученными показателями высоты, диаметра стволиков саженцев, длины главного корня, длины боковых и придаточных корней в школьном отделении, предназначенном для выращивания саженцев с открытой корневой системой, в отделении, предназначенном для выращивания саженцев с закрытой корневой системой была установлена корреляционная связь (рис. 3).

Наибольший показатель корреляции саженцев с ОКС отмечен между диаметром главного корня и осевым приростом — 0,7. Наибольший показатель корреляции саженцев с ЗКС отмечен между высотой саженцев и диаметром главного

**Биометрические показатели саженцев ели сибирской
с развитием корневой системы закрытого типа**

Biometric indicators of Siberian spruce seedlings with the development of a root-balled system

Параметр	Значения, см			Среднее квадратическое отклонение, σ	Коэффициент вариации, CV, %
	mid	max	min		
Высота саженца	73,2	85,0	62,0	8,35	11,41
Диаметр стволика	2,2	2,3	2,0	0,13	6,21
Длина кроны	67,6	75,0	60,0	6,19	9,15
Диаметр кроны	44,4	50,0	36,0	5,22	11,77
Прирост осевого побега	26,0	34,0	12,0	8,46	32,52
Боковой прирост	13,8	17,0	10,0	2,59	18,76
Длина главного корня	24,0	47,0	12,0	13,58	56,60
Диаметр главного корня	1,2	1,6	0,8	0,31	25,69
Длина боковых корней	37,6	50,1	20,3	10,90	29,0
Длина корневых волосков	35,2	45,4	23,4	9,81	27,87

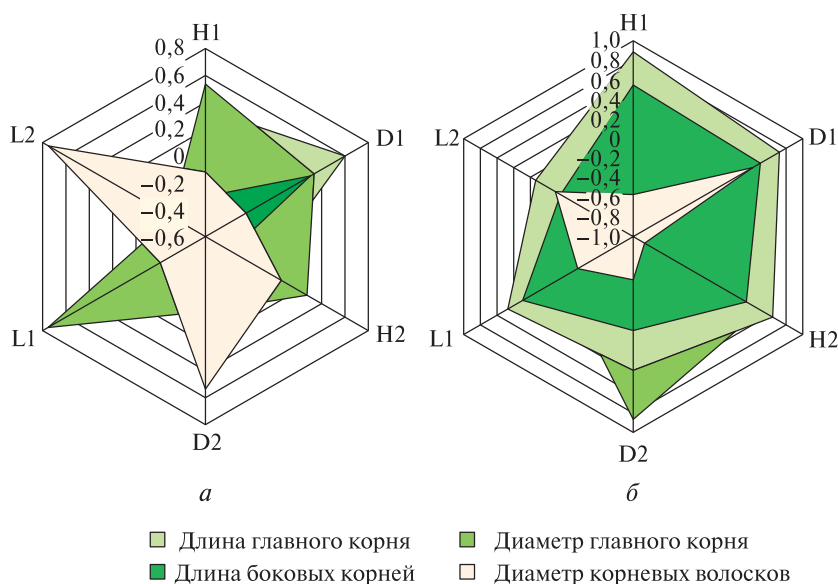


Рис. 3. Корреляция между признаками саженцев: *a* — ОКС; *б* — ЗКС; H_1 — высота саженца, H_2 — высота кроны, D_1 — диаметр ствола, D_2 — диаметр кроны, L_1 — осевой прирост, L_2 — боковой прирост

Fig. 3. Correlation between the seedlings characteristics: *a* — bare-root system; *б* — a root-balled system; H_1 — seedling height, H_2 — crown height, D_1 — trunk diameter, D_2 — crown diameter, L_1 — axial growth, L_2 — lateral growth

корня, диаметром главного корня и диаметром кроны — 0,8.

Установлено, что корневая система ели сосредоточена в верхнем слое почвы — корни распространяются горизонтально, густо переплетаясь между собой, образуют мощную сеть. Количество корней по мере углубления в почву снижается.

Выводы

Характер строения корневых систем определяется биологической особенностью породы и варьирует вследствие изменений, происходящих в условиях среды. У саженцев, выращиваемых

с ЗКС, отмечено угнетение развития боковых корней и уменьшение числа всасывающих волосков, что приводит к ухудшению усвоения питательных элементов из субстрата и замедлению процессов жизнедеятельности растения в целом. При раннем перешколивании наблюдается угнетение главного корня и активное развитие боковых корней и всасывающих волосков, что обеспечивает увеличение площади освоения почвы и улучшения питания саженцев. Верхний рыхлый слой почвы оказывает благоприятное воздействие на развитие надземной и подземной частей саженцев ели сибирской.

Список литературы

- [1] Мельник П.Г., Тишков А.С., Аксенов П.А. Продуктивность и качество древесины климатипов ели в условиях Подмосквы // Лесной вестник / Forestry Bulletin. 2020. Т. 24. № 3. С. 66–73.
DOI: 10.18698/2542-1468-2020-3-66-73
- [2] Смирнов Н.А. Выращивание посадочного материала для лесовосстановления. М.: Лесная пром-сть, 1981. 169 с.
- [3] Миронов В.В. Экология хвойных пород при искусственном лесовозобновлении. М.: Лесная пром-сть, 1977. 232 с.
- [4] Чернов Н.Н. Особенности создания и выращивания культур ели // Леса Урала и хозяйство в них, 2004. № 25. С. 141–147.
- [5] Протопопов В.В. Средообразующая роль темнохвойного леса. Новосибирск: Наука, 1975. 327 с.
- [6] Мишко А.Е. Онтоморфогенез ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) в северотаежных лесах (на примере Кольского полуострова): дис. ... канд. биол. наук (специальность 03.02.08). СПб.: Изд-во Ботанического ин-та им. В.Л. Комарова РАН, 2019. 146 с.
- [7] Bannister P., Neuner G. Frost resistance and the distribution of conifers in Eds. F.J. Bigras, S.J. Colombo // Conifer cold hardiness. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001, pp. 3–22.
- [8] Kjellsen T.D., Shiryayeva L., Schroder W.P., Strimbeck G.R. Proteomics of extreme freezing tolerance in Siberian spruce (*Picea obovata*) // J. Proteomic, 2010, v. 73 (5), pp. 965–975.
- [9] Попов П.П. Ель европейская и сибирская: структура, интеграция и дифференциация популяционных систем. Новосибирск: Наука, 2005. 231 с.
- [10] Мартынов А.Н., Мельников Е.С., Ковязин В.Ф., Аникин А.С., Минаев В.Н., Беляева Н.В. Основы лесного хозяйства и таксация леса. СПб.: Лань, 2008. 372 с.
- [11] Абаймов В.Ф. Дендрология с основами лесной геоботаники и дендроиндикации: учеб. пособие. Оренбург: Издательский центр ОГАУ, 2014. 396 с.
- [12] Муканова А.А., Попов П.П. Биологические особенности ели сибирской на территории Тюменской области // Леса Евразии в третьем тысячелетии: Материалы Междунар. конф. молодых ученых, Москва, 26–29 июня 2001 г. М.: МГУЛ, 2001. С. 89–90.
- [13] Праходский С.А. Особенности прохождения герминального этапа представителями рода *Picea* A. Dietr. при выращивании посадочного материала с закрытой корневой системой // Леса Евразии — Подмосковные вечера: Материалы X Междунар. конф. молодых ученых, посвященной 90-летию со дня основания Московского государственного университета леса и 170-летию со дня рождения профессора М.К. Турского, Москва, 19–25 сентября 2010 г. М.: МГУЛ, 2010. С. 216–218.
- [14] Волотович А.А., Поплавская Л.Ф., Ребко С.В., Тупик П.В. Сравнительные показатели роста сортовых сеянцев сосны обыкновенной с ЗКС // Лесное хозяйство: Тезисы 82-й науч.-техн. конф. с междунар. участием, Минск, 01–14 февраля 2018 г. Минск: Изд-во БГТУ, 2018. С. 56.
- [15] Носников В.В. ЗКС: за и против // Лесное и охотничье хозяйство, 2018. № 4. С. 13–17.
- [16] Evstigneev O.I., Korotkov V.N. Ontogenetic stages of trees: an overview // Russian J. of Ecosystem, 2016, v. 2(2), pp. 1–31.
- [17] Терехов Г.Г. Развитие корневых систем пятилетних культур ели сибирской на Урале // Леса Урала и хозяйство в них, 2004. № 25. С. 133–141.
- [18] Терехов Г.Г., Луганский Н.А., Стародубцева Н.И. Начальные этапы формирования корневой системы ели в культурах на среднем Урале // Леса России и хозяйство в них, 2014. № 4 (51). С. 24–31.
- [19] Лесной план Новосибирской области от 10.01.2019. URL: <https://docs.cntd.ru/document/465727230> (дата обращения 20.09.2021).
- [20] Рекомендации по восстановлению искусственным и комбинированным способами хвойных и твердолиственных молодняков на землях лесного фонда (с базовыми технологическими картами на выполненные работы). Пушкино: Изд-во ВНИИЛМ, 2015. 80 с.
- [21] Рожков В.А., Кузнецова И.В., Рахматуллоев Х.Р. Методы изучения корневых систем растений в поле и лаборатории. М.: МГУЛ, 2008. 51 с.
- [22] Пальцев А.М., Мерзленко М.Д., Мельник П.Г. Опыт географических культур ели в зоне смешанных лесов. Обзорная информация. М.: Изд-во ВНИИЦлесресурс, 1995. 35 с.
- [23] Терехов Г.Г., Луганский Н.А. Оценка морфологического состояния надземной части самосева и подростка ели сибирской на лесокультурном участке // Леса России и хозяйство в них, 2009. № 1(31). С. 19–26.
- [24] Рахтеенко И.Н. Корневые системы древесных и кустарниковых пород. М.: Гослесбумиздат, 1952. 106 с.
- [25] Мерзленко М.Д., Бабич Н.А. Теория и практика искусственного лесовосстановления. Архангельск: Изд-во САФУ, 2011. 239 с.

Сведения об авторах

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

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

Якубенко Ольга Евгеньевна — ст. преподаватель кафедры лесного хозяйства, ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный университет», o.e.yakubenko@yandex.ru

Поступила в редакцию 10.01.2022.

Одобрено после рецензирования 27.01.2022.

Принята к публикации 04.04.2022.

DEVELOPMENTAL FEATURES OF SIBERIAN SPRUCE (*PICEA OBOVATA*) ROOT SYSTEM WITH DIFFERENT CULTIVATION TECHNOLOGIES

R.A. Tretyakova, O.V. Parkina✉, O.E. Yakubenko

Novosibirsk State Agrarian University, 160, Dobrolyubova st., 630039, Novosibirsk, Russia

Parkinaoksana@yandex.ru

An assessment of the Siberian spruce (*Picea obovata*) root system development with different cultivation technologies on the territory of the «Michurintsev Garden» in the Novosibirsk region was carried out. The variability of the seedlings biometric indicators was established depending on the method of growing planting material: with a bare root system without transplanting and with subsequent planting in containers to obtain large-sized plants. Analysis of the data showed that five-year old transplants grown with a root-balled system for five years underdeveloped lateral roots and the decrease in the number of suction hairs were noted, which leads to a deterioration in the nutrients absorption from the substrate and the slowdown in the life processes of the plant as a whole. With transplanting in the fifth year, the dying off of the main root and the active development of lateral roots are observed, which provides an increase in the area of soil development and an improvement in the transplants nutrition. The extent of the influence of hydrothermal conditions on the growth and development of Siberian spruce (*Picea obovata*) transplants was studied. It has been established that the formation of the root system and the nature of the onset of phenorhythms significantly depend on the growing conditions.

Keywords: Siberian spruce (*Picea obovata*), root system, growing technology, main root, lateral roots, suction hairs

Suggested citation: Tretyakova R.A., Parkina O.V., Yakubenko O.E. *Osobennosti razvitiya kornevoj sistemy eli sibirskoy (Picea obovata) pri raznyh tehnologiyah vyrashhivaniya* [Developmental features of Siberian spruce (*Picea obovata*) root system with different cultivation technologies]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 4, pp. 14–20. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-4-14-20

References

- [1] Mel'nik P.G., Tishkov A.S., Aksenov P.A. *Produktivnost' i kachestvo drevesiny klimatipov eli v usloviyakh Podmoskov'ya* [Climatic type spruce productivity and wood quality in Moscow region]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 3, pp. 66–73. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-3-66-73
- [2] Smirnov N.A. *Vyrashchivanie posadochnogo materiala dlya lesovosstanovleniya* [Coniferous planting material cultivation using advanced technologies]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forest Industry], 1981, 169 p.
- [3] Mironov V.V. *Ekologiya khvoynykh porod pri iskusstvennom lesovozobnovlenii* [Ecology of conifer during artificial reforestation]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forest Industry], 1977, 232 p.
- [4] Chernov N.N. *Osobennosti sozdaniya i vyrashchivaniya kul'tur eli* [Features of the creation and cultivation of spruce crops]. *Forests of the Urals and the economy in them*, 2004, no. 25, pp. 141–147.
- [5] Protopopov V.V. *Sredoobrazuyushchaya rol' temnokhvoynogo lesa* [The Habitat Forming Role of Dark Coniferous Forest]. Novosibirsk: Nauka, 1975, 327 p.
- [6] Mishko A.E. *Ontomorfogenez eli sibirskoy (Picea obovata Ledeb.) v severotaezhnykh lesakh (na primere Kol'skogo poluostrova)* [Ontomorphogenesis of Siberian spruce (*Picea obovata* Ledeb.) in northern taiga forests (on the example of the Kolsky peninsula)]. Diss. ... Cand. Sci. (Biol.). SPb.: Botanicheskiy in-t im. V.L. Komarova RAN, 2019. 146 p.
- [7] Bannister P., Neuner G. Frost resistance and the distribution of conifers in Eds. F.J. Bigras, S.J. Colombo. *Conifer cold hardiness*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001, pp. 3–22.
- [8] Kjellsen T.D., Shiryayeva L., Schroder W.P., Strimbeck G.R. Proteomics of extreme freezing tolerance in Siberian spruce (*Picea obovata*). *J. Proteomics*, 2010, v. 73 (5), pp. 965–975.
- [9] Popov P.P. *El' evropeyskaya i sibirskaya: struktura, integratsiya i differentsiatsiya populyatsionnykh sistem* [European and Siberian spruce: structure, intergradation and differentiation of population systems]. Novosibirsk: Nauka, 2005, 231 p.
- [10] Martynov A.N., Mel'nikov E.S., Kovyazin V.F., Anikin A.S., Minaev V.N., Belyaeva N.V. *Osnovy lesnogo khozyaystva i taksatsiya lesa* [Fundamentals of forestry and forest inventory]. St. Petersburg: LLC Publishing House «Lan'», 2008, 372 p.
- [11] Abaimov V.F. *Dendrologiya s osnovami lesnoy geobotaniki i dendroindikatsii* [Dendrology with the basics of forest geobotany and dendroindication: a textbook]. Orenburg: OSAU Publishing Center, 2014, 396 p.
- [12] Mukanova A.A., Popov P.P. *Biologicheskie osobennosti eli sibirskoy na territorii Tyumenskoy oblasti* [Biological features of Siberian spruce in the Tyumen region]. *Lesa Evrazii v tret'em tysyacheletii: Materialy Mezhdunar. konferentsii molodykh uchenykh* [Forests of Eurasia in the third Millennium: Proceedings of International Conference of young scientists]. Moscow: MSFU, 2001, pp. 89–90.
- [13] Prakhodskiy S.A. *Osobennosti prokhozheniya germinal'nogo etapa predstavatelyami roda Picea A. Dietr. pri vyrashchivanii posadochnogo materiala s zakrytoy kornevoy sistemoy* [Features of passage germinal stage by representatives of genus *Picea* A. Dietr. at cultivation of the landing material with the closed root system]. *Lesa Evrazii — Podmoskovnye vechera: Materialy X Mezhdunar. konferentsii molodykh uchenykh, posvyashchennoy 90-letiyu so dnya osnovaniya Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa i 170-letiyu so dnya rozhdeniya professora M.K. Turskogo* [Forests of Eurasia — Moscow Nights: Materials of the X International Conference of Young Scientists dedicated to the 90th anniversary of the founding of Moscow State Forest University and the 170th birthday of Professor M.K. Tourskii], Moscow, 19–25 September 2010. Moscow: MSFU, 2010, pp. 216–218.

- [14] Volotovich A.A., Poplavskaya L.F., Rebko S.V., Tupik P.V. *Sravnitel'nye pokazateli rosta sortovykh seyantsev sosny obyknovnoy s ZKS* [Comparative growth rates of varietal seedlings of Scots pine with ball-rooted planting stock]. *Lesnoe khozyaystvo: tez. 82-y nauch.-tekhn. konf. s mezhdunarodnym uchastiem* [Forestry. Thesis of the 82 scientific technical conference (with international participation)], Minsk, 01–14 February 2018. Minsk: Belarusian State Technological University, 2020, pp. 56.
- [15] Nosnikov V.V. *ZKS: za i protiv* [ZKS: pros and cons] // *Лесное и охотничье хозяйство* [Forestry and hunting economy], 2018, no. 4, pp. 13–17.
- [16] Evstigneev O.I., Korotkov V.N. Ontogenetic stages of trees: an overview // *Russian J. of Ecosystem*, 2016, v. 2(2), pp. 1–31.
- [17] Terekhov G.G. *Razvitie kornevykh sistem pyatiletnikh kul'tur eli sibirskoy na Urale* [Development of root systems of five-year crops of Siberian spruce in the Urals]. *Lesnaya Urala i khozyaystvo v nikh* [Forests of the Ural and the economy in them], 2004, no. 25, pp. 133–141.
- [18] Terekhov G.G., Luganskiy N.A., Starodubtseva N.I. *Nachal'nye etapy formirovaniya kornevoy sistemy eli v kul'turakh na srednem Urale* [The initial stages of the formation of the spruce root system in crops in the middle Urals]. *Forests of Russia and the economy in them*, 2014, no. 4 (51), pp. 24–31.
- [19] *Lesnoy plan Novosibirskoy oblasti ot 10.01.2019*. [Forest plan of the Novosibirsk region from 10.01.2019]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/465727230> (accessed 20.09.2021).
- [20] *Rekomendatsii po vosstanovleniyu iskusstvennykh i kombinirovannykh sposobami khvoynykh i tverdolistvennykh molodnyakov na zemlyakh lesnogo fonda (s bazovymi tekhnologicheskimi kartami na vypolnenie rabot)* [Recommendations for the restoration by artificial and combined methods of coniferous and hard-leaved young stands on the lands of the forest fund (with basic technological maps for work performance)]. Pushkino: VNIILM, 2015, 80 p.
- [21] Rozhkov V.A., Kuznetsova I.V., Rakhmatulloev Kh.R. *Metody izucheniya kornevykh sistem rasteniy v pole i laboratorii* [Methods of studying the root systems of plants in the field and in the laboratory]. Moscow: MGUL, 2008, 51 p.
- [22] Pal'tsev A.M., Merzlenko M.D., Mel'nik P.G. *Opyt geograficheskikh kul'tur eli v zone smeshannykh lesov. Obzornaya informatsiya* [The experience of geographical cultures of spruce in the zone of mixed forests]. Moscow: VNIITslesresurs, 1995, 35 p.
- [23] Terekhov G.G., Luganskiy N.A. *Otsenka morfologicheskogo sostoyaniya nadzemnoy chasti samoseva i podrosta eli sibirskoy na lesokul'turnom uchastke* [Assessment of the morphological state of the aboveground part of self-seeding and undergrowth of Siberian spruce in the forestry area]. *Forests of Russia and economy in them*, 2009, no. 1 (31), pp. 19–26.
- [24] Rakhtenko I.N. *Kornevye sistemy drevesnykh i kustarnikovykh porod* [Root systems of tree and shrub species]. Moscow: Goslesbumizdat, 1952, 106 p.
- [25] Merzlenko M.D., Babich N.A. *Teoriya i praktika iskusstvennogo lesovosstanovleniya* [Theory and practice of artificial reforestation]. Arkhangel'sk: SAFU, 2011, 239 p.

Authors' information

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

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

Yakubenko Ol'ga Evgen'evna — Senior Lecturer of the Department of Forestry of the Novosibirsk State Agrarian University, o.e.yakubenko@yandex.ru

Received 10.01.2022.

Approved after review 27.01.2022.

Accepted for publication 04.04.2022.

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 СТРУКТУРЫ И СОСТОЯНИЯ МОЛОДНЯКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ И НАЗЕМНЫМ МЕТОДОМ

Филатов¹, А.В. Грязькин^{1✉}, О.И. Гаврилова²

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

²ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет», 185096, г. Петрозаводск, пр. Ленина, д. 33

lesovod@bk.ru

Представлены материалы по оценке структуры и состояния молодняков смешанного состава, полученные с помощью беспилотных летательных аппаратов и классического наземного метода. Съёмка лесного участка осуществлялась квадрокоптерами. Наземным методом проведена оценка структуры и состояния молодняков, подлеска и живого напочвенного покрова на круговых учетных площадках по 10 м². На каждом объекте закладывали по 48 учетных площадок. Объекты исследования — молодняки естественного и искусственного происхождения. Установлено, что молодняки естественного происхождения сформировались на вырубке 2006 г., на площади 7 га. В их составе сосна, ель, береза, осина и ольха. Лесные культуры ели созданы в 2012 г. на площади 12 га. Показано, что нижние ярусы растительности и мелкий подрост с квадрокоптера не «читаются», при этом классический метод дает их детальные характеристики. Приведены дополнительные характеристики молодняков, полученные с помощью беспилотных летательных аппаратов. Показано, что результаты, полученные двумя методами, сопоставимы, ошибка по основным характеристикам не превышает 10 %. Сочетание двух методов дает более полную информацию по лесному участку. При этом у каждого из применяемых методов есть свои достоинства и свои недостатки.

Ключевые слова: структура, состояние, молодняки, беспилотный летательный аппарат, метод исследований

Ссылка для цитирования: Филатов А.А., Грязькин А.В., Гаврилова О.И. Оценка структуры и состояния молодняков с использованием беспилотных летательных аппаратов и наземным методом // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 4. С. 21–28. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-4-21-28

Область применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) стремительно расширяется [1–4]. В коммерческих целях они используются уже более трех десятков лет [4]. Беспилотные летательные аппараты много лет применяются в сельском хозяйстве [5–7], дорожном строительстве [8], для мониторинга состояния окружающей среды [7, 9, 10] и во многих других областях хозяйственной деятельности. К тому же БПЛА успешно внедряют и в лесохозяйственное производство для выявления очагов вредителей и болезней [8, 12–14], лесных пожаров на ранней стадии их распространения [6, 9]. Кроме того, с помощью БПЛА дают оценку ущербу, нанесенному лесными пожарами, наводнениями и т. д. [8, 9], осуществляют инвентаризацию лесных культур [1, 11], оценивают состояние молодняков [6, 11, 15], а также применяют при посевных работах в труднодоступных участках леса при их большой площади [10, 13].

Оценки приживаемости и сохранности лесных культур, состояния и структуры молодняков традиционным методом — задача трудоемкая, требующая больших затрат времени [8, 11]. Объективная оценка состояния и структуры молодняков,

занимающих площади более 5 га, практически невозможна.

Цель работы

Цель работы — сравнительная оценка состояния молодняков и определение их основных характеристик с помощью БПЛА и классического наземного метода.

Объект и методика исследования

Объекты исследования — молодняки естественного и искусственного происхождения на территории Важинского участкового лесничества Подпорожского районного лесничества Ленинградской области. Молодняки естественного происхождения сформировались на вырубке 2006 г. Площадь участка — 7 га (квартал 196, выдел 24). В их составе сосна, ель, береза, осина и ольха. Лесные культуры ели созданы в 2012 г. на площади 12 га (квартал 196, выделы 14, 16, 20). Общий вид объектов исследования с высоты 110 м представлен на рис. 1.

Сравнительная оценка состояния и определение основных характеристик молодняков на опытном участке проведены с использованием БПЛА и наземного метода [6, 8, 15]. Съёмка выдела производилась квадрокоптерами моделей:

Т а б л и ц а 1

Характеристики используемых устройств
Characteristics of the devices used

Показатель	DJI Phantom 4 PRO V1.0 с одночастотным геодезическим приемником Emlid Reach M	Квадрокоптер DJI Mavic Air 2
Масса, г	1388	570
Максимальная скорость в трех режимах (режим/ Mode), км/ч:		
S	72	69
A	58	55
P	50	48
Максимальная высота полета, м	5000	5000
Максимальная скорость ветра, м/с	до 15	до 15
Максимальное время полета, мин	Около 30	34
Спутниковые системы позиционирования	GPS/ГЛОНАСС	GPS/ГЛОНАСС
Емкость аккумулятора, мАч	5870	5200
Напряжение, В	15,2	11,55
Матрица, дюйм CMOS	1	2
Число эффективных пикселей, млн	20	20
Объектив:		
угол обзора, град. эквивалент	84	84
формата, мм	24	24
диафрагма	f/2,8–11	f/2,8
фокус, м	от 1 м до ∞	от 1 м до ∞
Диапазон рабочих температур, °С	0...+40	-10...+40
Передача видео на расстояние, км	7 (два канала) 4К/60 кадров/с	1080p: 10 4К/60 кадров/с
Расположение и количество датчиков, шт.:		
спереди	1	1
сзади	1	1
по бокам	–	1
сверху	–	1
снизу	1	1
Максимальное расстояние полета, км	14	18,5
<i>Примечание.</i> Информация приведена с официального сайта представительства компании DJI: https://www.dji.com/ru		

DJI Phantom 4 PRO V1.0 с одночастотным геодезическим приемником Emlid Reach M и Mavic Air 2, с пространственным разрешением 3...4 см/пиксель при высоте съемки 100...120 м (табл. 1).



Рис. 1. Конфигурация объекта исследования с высоты 110 м (Важинское участковое лесничество, кв. 196, выд. 24)
Fig. 1. Configuration of the object of study from a height of 110 m (Vazhinsky district forestry, block 196, allocated 24)

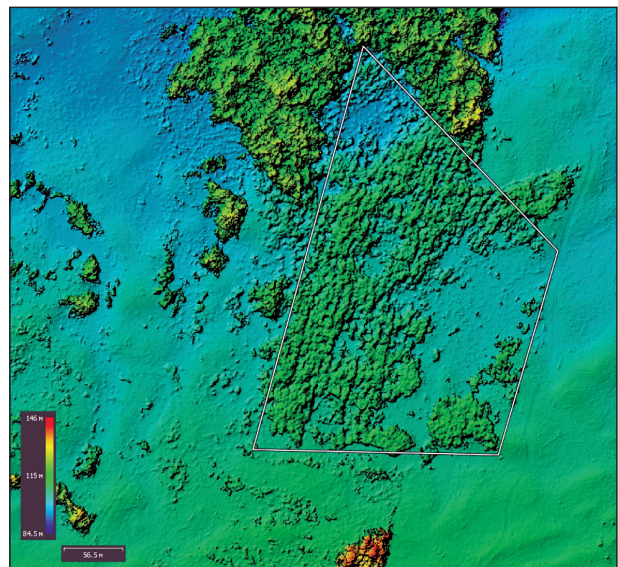


Рис. 2. Карта абсолютных высот в контурах объекта исследования
Fig. 2. Map of absolute heights in the contours of the object



Рис. 3. Ортофотоплан объекта исследования
Fig. 3. Orthophotoplan of the study object

Для построения ортофотоплана (рис. 2) и цифровой модели местности (рис. 3) была использована программа Agisoft Metashape Professional. DJI Fly и приложение к ней, которое предоставляет все необходимые инструменты для получения фотоснимков и видео.

Программное обеспечение по всему комплексу работ включало в себя следующие возможности:

- Agisoft metashape professional (передовое программное обеспечение, максимально раскрывающее возможности фотограмметрии в совокупности с компьютерным зрением, позволяет создавать высокодетализированные 3D-модели только по фотографиям, без использования дорогостоящего оборудования);

- Google Earth (программа для просмотра и работы со спутниковыми снимками с возможностью загрузки собственных ортофотопланов);

- QGIS Desktop (программа геоинформационных систем (ГИС), для создания, редактирования, визуализации и анализа геопространственной информации);

- Pix4D capture (программа, предназначенная для фотограмметрической обработки данных с БПЛА, получения ортофотопланов, цифровых моделей рельефа (ЦМР) и цифровых моделей местности (ЦММ), трехмерных моделей зданий, расчета объемов, карт высот);

- DJI GO (приложение, используемое для управления и съемки с квадрокоптеров фирмы DJI, позволяет изменять настройки камеры, выбирать режимы съемки, отслеживать статистику полетов);

- DJI Fly (приложение, которое предоставляет все необходимые инструменты для получения снимков и видео);

- FSPViewer (просмотрщик панорамных изображений, предназначен для просмотра фотографий с высоким разрешением в полноэкранный режиме, использует новейшие алгоритмы интерполяции, показывает высокое качество изображений без потери резкости);

- PanoramaStudio Pro (программа для создания панорамных изображений, позволяет создавать бесшовные 360-градусные, сферические и плоские панорамы из серии обычных фотографий);

- Adobe Lightroom (графический редактор, который обеспечивает полный цикл обработки фотографий, служит в качестве RAW-конвертера, позволяет быстро сортировать и обрабатывать изображения).

После проведения полевых работ с использованием БПЛА в фотограмметрическом программном обеспечении создается ортофотоплан по материалам съемки. Ортофотоплан возможно конвертировать и загружать в большинство ГИС с последующим редактированием.



Рис. 4. Запуск квадрокоптера в работу. Изображение и данные с борта передаются на монитор или в шлем оператора

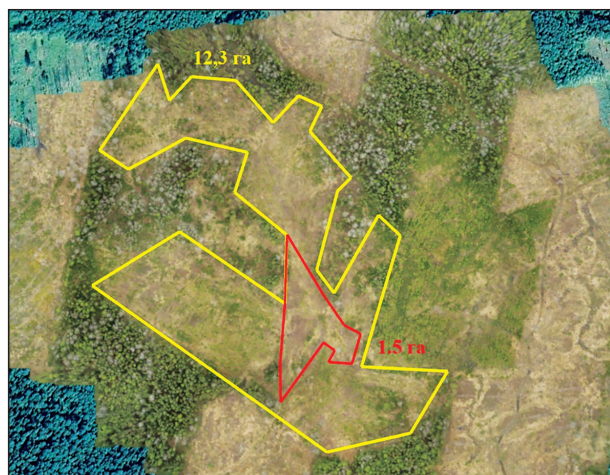
Fig. 4. Launching the quadcopter. The image and data from the board are transmitted to the monitor or to the operator's helmet

Полевые работы на первом объекте выполнены двумя методами — с использованием аэрофотоснимков, полученных с помощью квадрокоптеров (рис. 4 и 5) и с использованием оригинальной методики (наземным методом) [3]. Материалы учетных работ, полученные наземным методом, сравнивались с данными аэрофотосъемки. При этом устанавливалась численность молодняков по породам, распределение по группам высот и категориям состояния.

Результаты и обсуждение

Комплексное обследование опытных объектов проведено во второй декаде мая 2021 г. Фенологические фазы развития древесных пород на момент проведения полевых работ были следующими — фаза распускания листьев (береза, ольха, ива) или фаза набухания почек (осина, рябина).

У сосны отмечено начало роста побегов, а у ели — фаза разверзания почек (сбрасывание покровных чешуек). Основные характеристики молодняков (численность по породам, средняя высота, виталитетная структура), полученные разными методами, совпадают с допустимой погрешностью.



a



б

Рис. 5. Второй опытный объект: контур биотопа (а) в виде куртины из осины (б), где проведение хозяйственных мероприятий нецелесообразно (выделено красным цветом), высота съемки 120 м, перекрытие продольное — 70, поперечное — 80

Fig. 5. The second experimental object: biotope contour (a) in the form of an aspen curtain (b), where economic activities are impractical (highlighted in red), survey height 120 m, overlap: longitudinal — 70, transverse — 80

При дистанционном обследовании опытных участков были получены фото и видео материалы, на основании которых выполнено следующее:

- составлены таксационные описания (породный состав, высоты, диаметры, полноты);
- проведено обследование и составлены рекомендации по проведению хозяйственных мероприятий;
- разработаны летная карта, карта высот, ортофотоплан (в зависимости от варианта работ), сферические круговые панорамы 360°.

На фотоснимке (см. рис. 3) отчетливо видны контуры первого опытного участка, легко выделяются биотопы с различными характеристиками древесной растительности. Фотоснимок дает общее представление о смежных участках леса, что важно учитывать при оценке успешности естественного возобновления леса.

Полученные данные дают возможность определить состав, возраст, высоту, класс бонитета и тип леса на всей площади первого лесного участка (табл. 2).

Рекомендуемое мероприятие на первом опытном участке: разреживание березы, уборка осины и ольхи; для хвойных пород — осветление, по всему участку — удаление сухих деревьев.

Дальнейшая камеральная обработка позволила получить ортофотоплан и цифровую модель местности в системе координат WGS 84. С помощью ортофотоплана можно с большой точностью установить площадь биотопа, его контуры и уточнить конфигурацию выдела, используя специальные полетные программы. Ортофотоплан имеет геодезическую привязку к местности с погрешностью 3...4 см в плане и около 5 см по высоте. Со штатными

Т а б л и ц а 2

Основная характеристика молодняков на первом опытном участке по двум методам, III класс бонитета, тип условий произрастания B2

The main characteristics of young growths on the first experimental plot according to two methods, III class of bonitet, type of growth conditions B2

Показатель	Метод	
	Наземный	С помощью БПЛА
Состав	5Б2Ос2Е1С+Олс	6Б2Ос2Е+С+Олс+Ивд
Возраст, лет	Б – 15 Ос – 15 Олс – 15 С – 5–12 Е – 3–19	Б – 15 Ос – 15 Олс – 15 С – 15 Е – 15
Высота, м	Б – 6 Ос – 7 Олс – 4 С – 3 Е – 2	Б – 6 Ос – 7 Олс – 4 С – нет Е – 3
Диаметр ствола, см	Б – 6 Ос – 8 Олс – 4 С – 4 Е – 3	Б – 6 Ос – 8 Олс – 4 С – нет Е – 2
Сомкнутость крон, %	91	85
Тип леса	Березняк черничный свежий	Березняк черничный
<i>Примечание.</i> Б — береза, Ос — осина, Олс — ольха серая, С — сосна, Е — ель.		

GPS/GNSS-модулями, установленными на борту заводом-изготовителем, ошибка на местности составляет около 1...3 м как по высоте, так и в плане.

Исходные данные получены в международной системе координат WGS 84 (EPSG:4326) с возможностью редактирования в другие, в том числе и местные, системы координат. В ГИС-программах, с помощью ортофотоплана, возможно уточнение границ/контуров делянок, выделение биотопов с измерением их площади и точных координат месторасположения, отрисовкой контурных границ и т. д. (см. рис. 5). Второй опытный участок непосредственно примыкает к первому справа (не выделен).

Кроме этого, на опытном участке было сделано несколько видеопролетов и сферических панорам с разных высот и с разных сторон. Для ориентирования была сделана карта-схема, контур нанесен на «Google-карты», все панорамы пронумерованы. На схеме каждый номер показывает местоположение панорамы (рис. 6).

Ортофотоплан можно экспортировать в формат kmz, можно открывать и работать с ним в любой удобной программе. Такой продукт можно загрузить в навигатор и использовать на местности для точного определения местоположения площадей и их расчета.

Численность молодняков по породам и данные по отпаду представлены в табл. 3.

В целом состояние молодняков на обоих опытных объектах опасений не вызывает. На первом опытном участке доля погибших растений (сухостой) составляет 3,2 % (273 экз./га), а нежизнеспособных и поврежденных растений — 4,4 % (413 экз./га). Максимальный отпад возможен в пределах 7–8 % общей численности молодняков. Тем не менее проведение хозяйственных мероприятий целесообразно. Необходимость изреживания лиственных пород связана с тем, что большинство деревьев сосны и ели подавляется лиственными породами. Средняя высота березы, осины и ольхи в 2–3 раза больше, чем хвойных пород. Доля жизнеспособных деревьев сосны составляет менее 54 %. Сохранность лесных культур ели составляет 78 %. В составе лесных культур имеется самосев ели разного возраста численностью около 700 экз./га.

Подлесок не составляет конкуренции лесообразующим породам ни по численности, ни по средней высоте. Тем более что около 70 % деревьев основного полога (лесообразующие породы) имеют высоту более 2 м.

В составе живого напочвенного покрова выявлено 23 вида. Из них лишь семь видов характеризуются встречаемостью более 50 %. Четыре вида являются доминантами и формируют соответствующие парцеллы — брусника, вейник, кукушкин лен, сфагнум. Проективное покрытие доминантов по парцеллам составляет от 60 до 100 %.

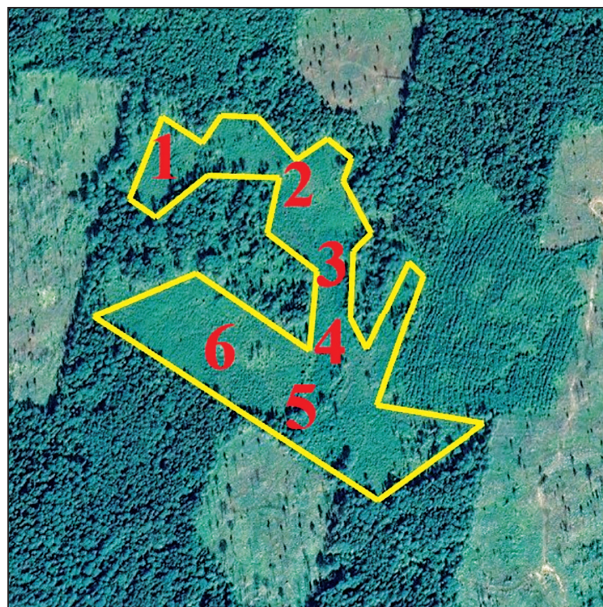


Рис. 6. Видеопролеты обобщены с разных высот и сторон, сферические панорамы пронумерованы

Fig. 6. From different heights and sides, video spans are summarized, and spherical panoramas numbered

Т а б л и ц а 3

Распределение древесных пород по категориям состояния, экз./га

Distribution of tree species by condition categories, ex./ha

Древесная порода	Распределение по категориям состояния, деревьев			
	Первый объект		Второй объект	
	растущие	сухостой	растущие	сухостой
Сосна	500	58	528	28
Ель	1770	–	2417	14
Береза	5415	72	6056	14
Осина	1042	143	5931	56
Ольха	142	–	653	–
Итого	8969	273	15585	140

Как видно из представленных данных, не следует отказываться от классического метода исследований в лесоводстве, поскольку не все характеристики лесных фитоценозов можно определять по аэрофотоснимкам. Использование БПЛА в лесном хозяйстве создает определенные трудности, связанные с непрозрачностью полога, образованного кронами деревьев верхнего яруса, вследствие этого нижние ярусы растительности остаются скрытыми от БПЛА. Мелкий подрост лесообразующих пород также остается вне поля зрения, численность молодняков с квадрокоптера определяется с погрешностью до 10 %. По этой причине классический метод геоботанических исследований остается актуальным, несмотря на успешное использование БПЛА в лесном хозяйстве.

Выводы

Каждому из использованных нами методов присущи свои достоинства и недостатки. С помощью БПЛА выявлены целевые биотопы и установлены их конфигурация и площадь. Основные недостатки использования БПЛА — зависимость от погодных условий и невозможность определять характеристики нижних ярусов растительности.

Классическим методом получена детальная характеристика всех компонентов леса. Основным недостатком этого метода — большие трудозатраты.


Результаты, полученные разными методами, сопоставимы, погрешность по основным таксационным характеристикам не превышала 10 %.

Список литературы

- [1] Алексеев А.С., Данилов Ю.И., Никифоров А.А., Гузюк М.Е., Киреев Д.М. Опыт применения беспилотного летательного аппарата для инвентаризации и оценки опытных лесных культур Лисинской части Учебно-опытного лесничества Ленинградской области // Труды Санкт-Петербургского НИИ лесного хозяйства, 2020. № 2. С. 46–52. DOI 10.21178/2079–6080.2020.2.46
- [2] Гафуров А.М. Использование беспилотных летательных аппаратов для оценки почвенной эрозии // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Сер.: Естественные науки, 2019. Т. 43. № 2. С. 182–190. DOI: 10.18413/2075-4671-2019-43-2-182-190
- [3] Грязькин А.В. Способ учета подроста. Пат. № 2084129. Российская Федерация, МКИ С 6 А 01 G 23/00. № 94022328/13. Заявл. 10.06.94. Оpubл. 20.07.97. Бюл. № 20.
- [4] Зубарев Ю.Н., Фомин Д.С., Чашин А.Н., Заболотнова М.В. Использование беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве // Вестник Пермского федерального исследовательского центра, 2019. № 5. С. 102–108. DOI: 10.7242/2658-705X/2019.2.5
- [5] Кабонен А.В., Ольхин Ю.В. Дешифрирование форм и морфологических особенностей древесных растений на снимках, полученных с помощью беспилотных летательных аппаратов // Экосистемы, 2019. № 20 (50). С. 197–202.
- [6] Казамбаев М.К., Куатов Б.Ж. Некоторые вопросы использования беспилотных летательных аппаратов // Надежность и качество сложных систем, 2017. № 4(20). С. 97–100. DOI: 10.21685/2307-4205-2017-4-13
- [7] Коптев С.В., Скуднева О.В. О возможностях применения беспилотных летательных аппаратов в лесохозяйственной практике // ИВУЗ Лесной журнал, 2018. № 1. С. 130–138. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.130
- [8] Мелихова Е.В., Мелихов Д.А. Применение беспилотных летательных аппаратов в аграрном производстве // Международный журнал прикладных наук и технологий «Integral», 2019. № 3. С. 15–21.
- [9] Овчинникова Н.Г., Медведков Д.А. Применение беспилотных летательных аппаратов для ведения землеустройства, кадастра и градостроительства // Экономика и экология территориальных образований, 2019. № 1(3). С. 98–108. DOI.org/10.23947/2413-1474-2019-3-1-98-108
- [10] Петушкова В.Б., Потапова С.О. Мониторинг и охрана лесов с применением беспилотных летательных аппаратов // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы, 2018. С. 717–724.
- [11] Рогачев А.Ф. Методические подходы к получению и обработке данных дистанционного зондирования для обоснования мелиоративных мероприятий // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование, 2018. С. 4 (52). С. 332–338. DOI 10.32786/2071-9485-2018-04-47
- [12] Almasoud A.S., Ben S., Hassine H., Nemri N., Al-Wesabi F., Hamza M., Hilal A.M., Motwakel A., Duhayyim M.A., Ahmed M. Metaheuristic Based Data Gathering Scheme for Clustered UAVs in 6G Communication Network // Computers, Materials and Continua, 2022, vol. 71, no. 3, pp. 5311–5325. <http://dx.doi.org/10.32604/cmc.2022.024500>
- [13] Blažková J., Paprštejn F., Zelený L., Skřivanová A., Suran P. Long-term evaluation of rootstock effects on cropping and tree parameters of selected sweet cherry cultivars // Hort. Sci. (Prague), 2020, v. 47, pp. 13–20. <https://doi.org/10.17221/39/2018-HORTSCI>
- [14] León, L., Díaz-Varela, R. A., Zarco-Tejada, P. J., de la Rosa, R. Tree crown parameters assessment using 3D photo reconstruction as a tool for selection in olive breeding programs // Acta Horticulturae, 2017, v. 1160, pp. 1–4. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1160.1>
- [15] Szantoi Z., Smith S.E., Strona G., Koh L.P., Wich S.A. Mapping Orangutan Habitat and Agricultural Areas Using Landsat OIL Imagery Augmented with Unmanned Autonomous System Aerial Photography // International J. of Remote Sensing, 2017, v. 38, pp. 2231–2245. DOI:10.1080/01431161.2017.1280638
- [16] Yu X., Liu Q., Liu X., Liu X., Wang Y. A Physical-based Atmospheric Correction Algorithm of Unmanned Aerial Vehicles Images and its Utility Analysis // International J. of Remote Sensing, 2017, v. 38, pp. 3113–3134. DOI:10.1080/01431161.2016.1230291

Сведения об авторах

Филатов Антон Андреевич — аспирант кафедры лесной таксации, лесоустройства и геоинформационных систем, Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова, Санкт-Петербург, anton.filatov.94@mail.ru

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

Гаврилова Ольга Ивановна — д-р с.-х. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет», 33. ogavril@mail.ru.

Поступила в редакцию 22.02.2022.

Одобрено после рецензирования 04.03.2022.

Принята к публикации 13.05.2022.

UNMANNED AERIAL VEHICLES AND LAND TECHNIQUE ASSESSMENT OF YOUNG FOREST STANDS

A.A. Filatov¹, A.V. Gryazkin^{1✉}, O.I. Gavrilova²

¹St. Petersburg State Forestry University named after S.M. Kirov, 5, letter U, Institutsky lane, 194021, St. Petersburg, Russia

²Petrozavodsk State University, Lenin Ave., 33 185096 Petrozavodsk, Russia

lesovod @bk.ru

The article presents the data on the composition and condition of mixed young forests, obtained using unmanned aerial vehicles and the classical land technique. The plotting of the forest area was carried out by quadcopters. The land technique was used to assess the composition and condition of young stands, undergrowth and live ground cover on 10 m² circular plots. At each object, 48 discount areas were laid. The objects of study are young stands of natural and artificial origin. It was established that young growths of natural origin were formed in the 7 hectares cutover plots in 2006. They include pine, spruce, birch, aspen and alder. Spruce plantations were created in 2012 on an area of 12 hectares. It is shown that the understories and small undergrowth are not visible from a quadcopter, while the classical method gives the detailed characteristics. Additional characteristics of young forests obtained with the help of unmanned aerial vehicles are given. It is shown that the results obtained by the two methods are consistent, the error in the main characteristics does not exceed 10%. The combination of the two methods gives more complete information on the forest area. However, each of the methods used has its own advantages and disadvantages.

Keywords: structure, state, young animals, unmanned aerial vehicle, research method

Suggested citation: Filatov A.A., Gryazkin A.V., Gavrilova O.I. *Otsenka struktury i sostoyaniya molodnyakov s ispol'zovaniem bespilotnykh letatel'nykh apparatov i nazemnym metodom* [Unmanned aerial vehicles and land technique assessment of young forest stands]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 4, pp. 21–28. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-4-21-28

References

- [1] Alekseev A.S., Danilov Yu.I., Nikiforov A.A., Guzyuk M.E., Kireev D.M. *Opyt primeneniya bespilotnogo letatel'nogo apparata dlya inventarizatsii i otsenki opytnykh lesnykh kul'tur Lisinskoj chasti Uchebno-opytного lesnichestva Leningradskoy oblasti* [The experience of using an unmanned aerial vehicle for inventory and evaluation of experimental forest crops of the Lisinsky part of the Educational and experimental forestry of the Leningrad region]. *Trudy Sankt-Peterburgskogo NII lesnogo khozyaystva* [Proceedings of the St. Petersburg Research Institute of Forestry], 2020, no. 2, pp. 46–52. DOI: 10.21178/2079-6080.2020.2.46
- [2] Gafurov A.M. *Ispol'zovanie bespilotnykh letatel'nykh apparatov dlya otsenki pochvennoy erozii* [The use of unmanned aerial vehicles to assess soil erosion]. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennyye nauki* [Scientific Bulletin of Belgorod State University. Series: Natural Sciences], 2019, v. 43, no. 2, pp. 182–190. DOI: 10.18413 / 2075-4671-2019-43-2-182-190
- [3] Gryaz'kin A.V. *Sposob ucheta podrosta* [A method of accounting for undergrowth]. Pat. 2084129 Russian Federation, MKI C 6 A 01 G 23/00. No. 94022328/13. App. 06/10/94. Pub. 07/20/97. Bull. no. 20.
- [4] Zubarev Yu.N., Fomin D.S., Chashchin A.N., Zabolotnova M.V. *Ispol'zovanie bespilotnykh letatel'nykh apparatov v sel'skom khozyaistve* [The use of unmanned aerial vehicles in agriculture]. *Vestnik Permskogo federal'nogo issledovatel'skogo tsentra* [Bulletin of the Perm Federal Research Center], 2019, no. 5, pp. 102–108. DOI: 10.7242 / 2658-705X / 2019.2.5
- [5] Kabonen A.V., Ol'khin Yu.V. *Deshifrirovaniye form i morfoloicheskikh osobennostey drevesnykh rasteniy na snimkakh, poluchennykh s pomoshch'yu bespilotnykh letatel'nykh apparatov* [Decoding of forms and morphological features of woody plants in images obtained using unmanned aerial vehicles]. *Ekosistemy* [Ecosystems], 2019, no. 20 (50), pp. 197–202.
- [6] Kazambaev M.K., Kumatov B.Zh. *Nekotorye voprosy ispol'zovaniya bespilotnykh letatel'nykh apparatov* [Some issues of the use of unmanned aerial vehicles]. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh sistem* [Reliability and quality of complex systems], 2017, no. 4 (20), pp. 97–100. DOI: 10.21685/2307-4205-2017-4-13
- [7] Koptev S.V., Skudneva O.V. *O vozmozhnostyakh primeneniya bespilotnykh letatel'nykh apparatov v lesokhozyaystvennoy praktike* [On the possibilities of using unmanned aerial vehicles in forestry practice]. *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2018, no. 1, pp. 130–138. DOI: 10.17238 / issn0536-1036.2018.1.130
- [8] Melikhova E.V., Melikhov D.A. *Primeneniye bespilotnykh letatel'nykh apparatov v agrarnom proizvodstve* [The Use of drones in the agricultural production]. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh nauk i tekhnologiy «Integral»* [International journal of applied science and technology «Integral»], 2019, no. 3, pp. 15–21.
- [9] Ovchinnikova N.G., Medvedkov D.A. *Primeneniye bespilotnykh letatel'nykh apparatov dlya vedeniya zemleustroystva, kadastra i gradostroitel'stva* [The Use of unmanned aerial vehicles to conduct land management, cadastre and urban planning]. *Ekonomika i ekologiya territorial'nykh obrazovaniy* [Economics and ecology of territorial entities], 2019, vol. 3, no. 1, pp. 98–108. DOI: 10.23947/2413-1474-2019-3-1-98-108.
- [10] Petushkova V.B., Potapova S.O. *Monitoring i okhrana lesov s primeneniem bespilotnykh letatel'nykh apparatov* [Monitoring and protection of forests using unmanned aerial vehicles]. *Pozharnaya bezopasnost': problemy i perspektivy* [Fire safety: problems and prospects], 2018, pp. 717–724.
- [11] Rogachev A.F. *Metodicheskie podkhody k polucheniyu i obrabotke dannykh distantsionnogo zondirovaniya dlya obosnovaniya meliorativnykh meropriyatiy* [Methodological approaches to obtaining and processing remote sensing data to substantiate reclamation measures]. *Izvestiya Nizhnevolskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vyshee professional'noe*

- obrazovanie [Proceedings of the Nizhnevolzhsky agrouniversitetskiy complex: science and higher professional education], 2018, no. 4 (52), pp. 332–338. DOI: 10.32786/2071-9485-2018-04-47
- [12] Almasoud A.S., Ben S., Hassine H., Nemri N., Al-Wesabi F., Hamza M., Hilal A.M., Motwakel A., Duhayyim M.A., Ahmed M. Metaheuristic Based Data Gathering Scheme for Clustered UAVs in 6G Communication Network. *Computers, Materials and Continua*, 2022, vol. 71, no. 3, pp. 5311–5325. <http://dx.doi.org/10.32604/cmc.2022.024500>
- [13] Blažková J., Paprštejn F., Zelený L., Skřivanová A., Suran P. Long-term evaluation of rootstock effects on cropping and tree parameters of selected sweet cherry cultivars. *Hort. Sci. (Prague)*, 2020, v. 47, pp. 13–20. <https://doi.org/10.17221/39/2018-HORTSCI>
- [14] León, L., Díaz-Varela, R. A., Zarco-Tejada, P. J., de la Rosa, R. Tree crown parameters assessment using 3D photo reconstruction as a tool for selection in olive breeding programs. *Acta Horticulturae*, 2017, v. 1160, pp. 1–4. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1160.1>
- [15] Szantoi Z., Smith S.E., Strona G., Koh L.P., Wich S.A. Mapping Orangutan Habitat and Agricultural Areas Using Landsat OIL Imagery Augmented with Unmanned Autonomous System Aerial Photography. *International J. of Remote Sensing*, 2017, v. 38, pp. 2231–2245. DOI:10.1080/01431161.2017.1280638
- [16] Yu X., Liu Q., Liu X., Liu X., Wang Y. A Physical-based Atmospheric Correction Algorithm of Unmanned Aerial Vehicles Images and its Utility Analysis. *International J. of Remote Sensing*, 2017, v. 38, pp. 3113–3134. DOI:10.1080/01431161.2016.1230291

Authors' information

Filatov Anton Andreevich — Pg. student of the Department of Forest Taxation, Forest Management and Geoinformation Systems, St. Petersburg State Forestry University named after S.M. Kirov, anton.filatov.94@mail.ru.

Gryazkin Anatoly Vasilievich [✉] — Dr. Sci. (Biology), Professor of Forestry Department St. Petersburg State Forestry University named after S.M. Kirov, lesovod@bk.ru.

Gavrilova Olga Ivanovna — Dr. Sci. (Agriculture), Associate Professor, Petrozavodsk State University, ogavril@mail.ru

Received 22.02.2022.

Approved after review 04.03.2022.

Accepted for publication 13.05.2022.

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

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ БИОСТИМУЛЯТОРОВ И РЕГУЛЯТОРОВ РОСТА ДЛЯ ПИТОМНИКОВОДСТВА В УСЛОВИЯХ ДЕГРАДАЦИИ И ОПУСТЫНИВАНИЯ

С.Н. Крючков, А.В. Солонкин, А.С. Соломенцева✉,
А.К. Романенко, С.А. Егоров

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

alexis2425@mail.ru

Приведены результаты испытания препаратов «Биостим Старт», «Корневин», «Агровит Кор» на опытных образцах древесных видов, произрастающих в различных районах Волгоградской обл. за период 2019–2021 гг. Испытан способ прививки в расщеп, простой и за кору на сорте караганы селекции ФНЦ агроэкологии РАН. Объектами исследований являлись 10 видов из родов *Populus*, *Gleditsia*, *Caragana*, *Tamarix*, *Robinia*, *Ulmus*. Установлено, что грунтовая всхожесть гледичии обыкновенной была наилучшей в варианте с внесением суперудобрения «Агровит Кор» в дозе 5...90 г/м². Отмечен наилучший результат в опыте с применением препарата «Биостим Старт» с различными дозами внесения у видов тополя и тамарикса, показавший рекордный в засушливых условиях прирост (от 80 до 100 см), который был выше в 2 раза, чем у контрольных образцов. Определено, что при черенковании повышенная доза внесения регуляторов и биостимуляторов роста может уменьшать процент сохранности и развития зеленых черенков древесных видов. Приведен лучший результат (до 70 % приживаемости подвоев опытных растений), в частности осенней прививки за кору — лучшая осенняя сохранность и приросты при толщине подвоя в 0,3...0,8 см. Для дальнейшей селекционной работы и проведения опытов на выведении новых сортов выделены наилучшие виды — *Caragana arborescens* Lam., *Populus nigra* L., *Populus bolleana* Lauche., *Tamarix* L., *Gleditsia triacanthos* f. *Inermis* L. Они показали наилучшие результаты в условиях резко континентального климата засушливого региона и являются подходящими для агролесомелиоративного обустройства территории Нижнего Поволжья.

Ключевые слова: биостимуляторы роста, прививка, рост, развитие, опустынивание, лесные насаждения

Ссылка для цитирования: Крючков С.Н., Солонкин А.В., Соломенцева А.С., Романенко А.К., Егоров С.А. Применение современных биостимуляторов и регуляторов роста для питомниководства в условиях деградации и опустынивания // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 4. С. 29–38.
DOI: 10.18698/2542-1468-2022-4-29-38

Резко континентальный климат Нижнего Поволжья требует особого подхода к выращиванию древесно-кустарникового ассортимента в питомниках [1–6]. Быстрота роста и другие положительные свойства произрастающих в данной зоне древесно-кустарниковых видов определили широкие рекомендации к их использованию в лесных насаждениях различного назначения [7–10]. Однако несмотря на соблюдение агротехнических приемов, выращивание многих видов, сортов, пород и форм связано с большими материальными затратами, поэтому разработка технологий выращивания посадочного материала остается актуальным вопросом не только в научной среде региона, но и во всем мире. Современные препараты для регуляции и стимуляции роста позволяют как повысить урожайность, так и улучшить качество получаемой продукции, ускорить рост и развитие растений без вреда для них и окружающей среды. Из года в год применение таких препаратов приобретает большую

популярность [11]. Они способствуют повышению урожайности сельскохозяйственной продукции на 20...30 % и увеличению сахаристости на 0,9...1 % [12], уменьшают негативное воздействие абиотических и биотических стрессовых факторов, регулируя рост растений [13]. Применение биостимуляторов формирует стабильную и высокую продуктивность на плодовых питомниках, оптимизирует процессы плодоношения [14–16].

Цель работы

Цель работы — испытание биостимуляторов роста в целях получения устойчивых урожаев древесных видов в любых погодных условиях, повышения устойчивости растений к неблагоприятным факторам среды: высоким и низким температурам, поражаемости болезнями, получения более стабильного выхода продукции, тем самым делая ее получение экономически выгодным, и улучшая лесорастительные условия Волгоградской обл.

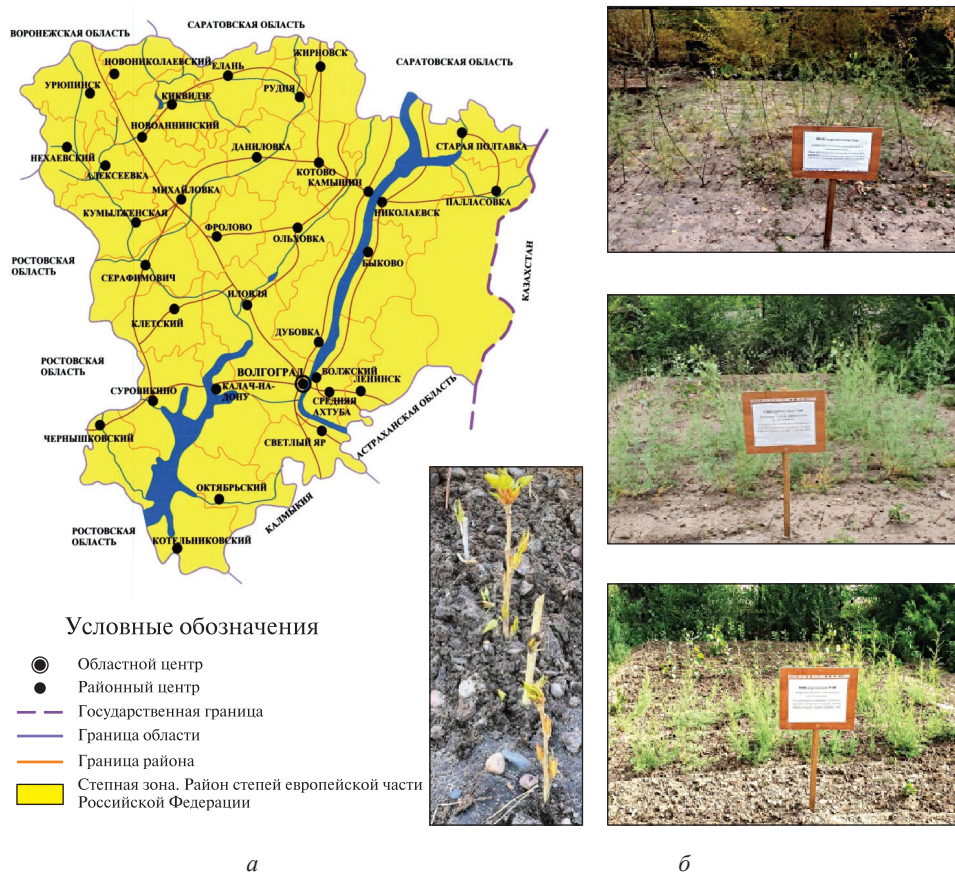


Рис. 1. Места сбора (а) и общий вид площадок (б) с опытными образцами [23]
Fig. 1. Collection places (a) and the general view of the sites (b) with experimental samples [23]

Материалы и методы исследования

Методы исследований основаны на использовании генетического потенциала древесных видов и их внутривидовой и внутривидовой изменчивости с учетом специфики засушливого региона и целей лесомелиорации [17–19]. Объектами исследований служили следующие виды: гледичия обыкновенная (трехколючковая) — *Gleditsia triacanthos* L.; карагана ф. пирамидальная — *Caragana arborescens* Lam.; тополь черный «Валкера» — *Populus nigra* L.; тополь Болле «Камышинский» — *Populus bolleana* Lauche.; тамарикс «Майский снег» — *Tamarix* L.; гледичия обыкновенная ф. безколючковая — *Gleditsia triacanthos* f. *inermis* L.; робиния лжеакация мачтовая — *Robinia pseudoacacia* L.; вяз граболистный гибридный «Памяти Гельмута Маттиса» — *Hybrid ulmus*; тополь пирамидальный — *Populus nigra* var. *italica* Münchh.; пирамидальная карагана «Несравненная ВНИАЛМИ» — *Caragana arborescens* f. *pyramidalis* Lam.

Потребность в семенах, соотношение в посадках между количеством деревьев и кустарников для зоны исследований, а также их количество на 1 га определяли по справочникам [20–22].

Отбор видов проводили на объектах постоянной лесосеменной базы (ПЛСБ) (рис. 1), в том числе:

- плюсовых деревьях, выделенных в естественных или искусственных лесных насаждениях г. Камышина и пгт. Дубовка. Путем экспедиционного исследования учтены 1356 деревьев (10 видов из родов *Populus*, *Gleditsia*, *Caragana*, *Tamarix*, *Robinia*, *Ulmus*) по сохранности и соответствию статусу «плюсового дерева»;
- лесосеменных плантациях дуба, сосны, лиственницы в Новоаннинском селекционно-семеноводческом комплексе на площади 120 га;
- селекционно-семеноводческом комплексе в Волгоградском лесничестве, включающем в себя лесосеменные плантации дуба, вяза, робинии, а также коллекционном участке хозяйственно ценных видов, гибридов и форм (26 таксонов) на площади 18,5 га.

Селекционную инвентаризацию объектов ПЛСБ (учет сохранности, состояния, определение таксационных показателей, плодоношения) проводили с помощью методики по семеноводству [22, 24]. В целях отбора перспективных клонов на клоновых и семейственных плантациях первого поколения наблюдали за ростом [25], состоянием, оценивали клоны и семьи по устойчивости

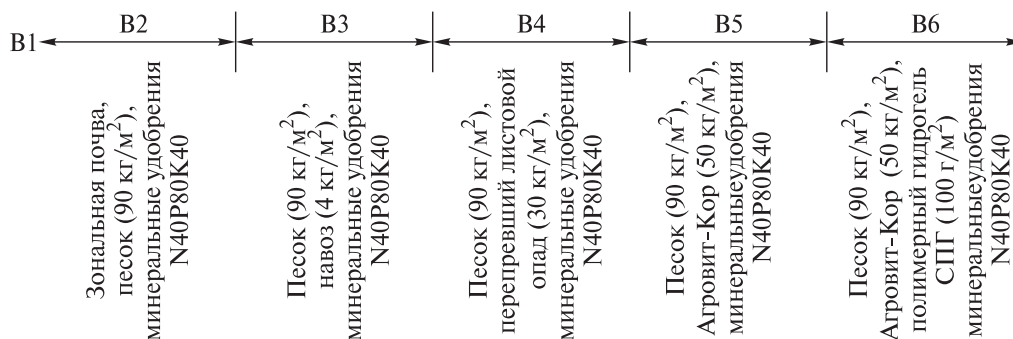


Рис. 2. Схема опыта (расстояние между посадками 0,7 м; почва зональная светло-каштановая суглинистая; В — вариант опыта)

Fig. 2. Scheme of experience (the distance between plantings is 0,7 m; the soil is zonal light chestnut loamy, В — experience option)

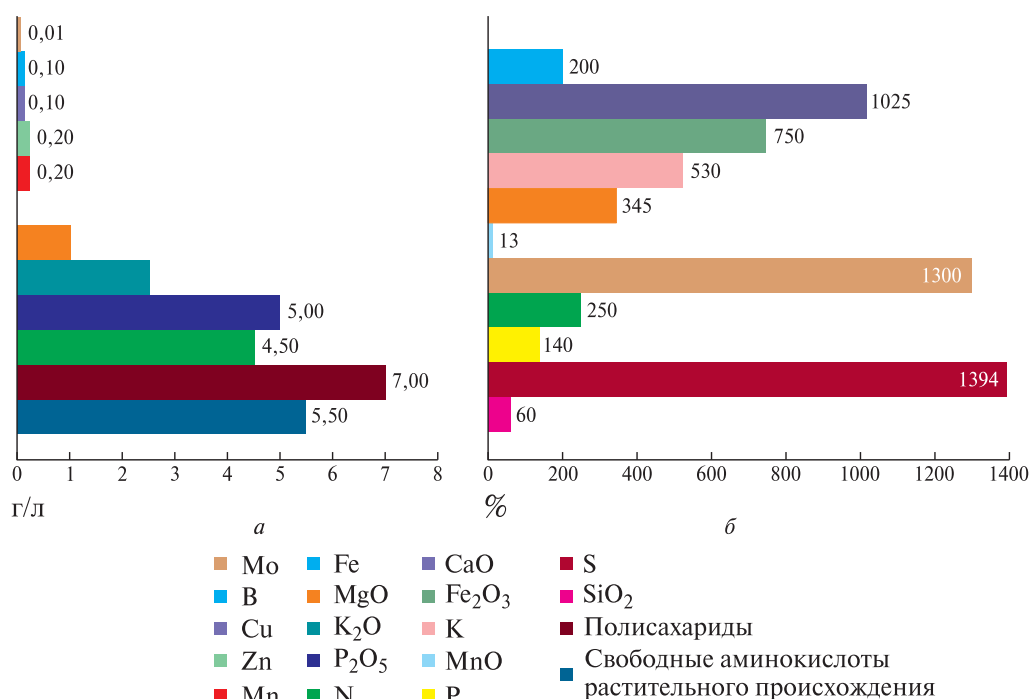


Рис. 3. Состав биостимулятора роста «Биостим Старт» (а) и супер удобрения «Агровит Кор» (б), SiO₂ — г/л

Fig. 3. The composition of the growth biostimulator «Bioslim Start» (a) and the super fertilizer «Agrovit Core» (b), SiO₂ — g/l

к засухе, вредителям и болезням. На основании полученных данных осуществляли ранжирование семей и клонов. После этого по методу многокритериального выбора была дана интегральная оценка совокупности хозяйственно ценных признаков. На основании подсчета взвешенной суммы нормированных отклонений признаков от заданного вектора (идеальной семьи, клона) предполагали значения.

Результаты и обсуждение

Исследуемые виды выращивали по схеме на различных вариантах смешивания почв с удобрениями и регулятором роста (рис. 2).

Результаты исследований показали, что наибольший выход сеянцев получен в вариантах (В) с внесением суперудобрения «Агровит Кор» с нормой 5...90 г/м² — В3 и В6 (табл. 1).

Хорошие результаты по укореняемости обеспечивает применение регуляторов роста. Авторы провели опыт по укоренению одревесневших черенков ценных гибридных форм тополей и тамарикса с применением таких Биостимуляторов, как Корневин (индолил-3-масляная кислота — ИМК), Биостим Старт в разных концентрациях. Лучшие результаты получены при использовании биостимулятора Биостим Старт в концентрации 20 мл/л (рис. 3, табл. 2).

Т а б л и ц а 1

Показатели однолетних сеянцев гледичии обыкновенной в зависимости от состава почвенного субстрата на Волгоградском опытном участке, средние данные за два года

Indicators of annual seedlings of honey locust depending on the composition of the soil substrate at the Volgograd experimental site, average data for two years

Показатель	Вариант опыта																		
	B1			B2			B3			B4			B5			B6			
Норма высева, г/пог. м*	21	14	7	21	14	7	21	14	7	21	14	7	21	14	7	21	14	7	
Грунтовая всхожесть, %	50,0	50,0	25,0	71,7	58,8	65,0	81,7	65,0	77,5	62,5	50,0	52,5	61,7	53,8	62,5	79,2	85,0	52,5	
Высота стволика, см	31,9	24,5	26,4	43,5	36,3	25,1	48,1	41,1	35,9	53,0	45,7	39,9	48,5	42,3	36,5	47,4	42,5	38,1	
Диаметр корневой шейки, мм	3,40	3,50	4,40	4,40	4,45	4,60	5,00	5,20	5,30	5,25	5,30	5,70	5,20	5,30	5,40	5,30	5,20	5,80	
Биомасса одного сеянца в сухом состоянии, г																			
	листья	0,85	0,70	1,00	1,25	1,35	0,98	1,48	1,56	1,58	1,79	2,25	2,01	1,58	1,65	1,59	1,52	1,57	1,85
	стволик	0,87	0,70	0,90	1,72	1,50	1,10	2,01	2,03	2,05	2,42	2,15	2,26	2,08	2,07	2,04	2,12	1,93	1,75
	корни	1,96	2,10	1,73	3,12	3,31	2,08	3,61	3,86	4,08	4,29	3,95	4,60	4,03	4,10	4,18	3,59	3,84	3,35
итого	3,68	3,50	3,63	6,09	6,16	4,16	7,10	7,45	7,71	8,50	8,35	8,87	7,69	7,82	7,81	7,23	7,34	6,95	
Кол-во сеянцев, шт./пог. м																			
	всего	60	36	10	86	44	26	92	49	31	73	38	21	68	43	25	83	67	21
стандарт	34	12	4	68	33	11	80	42	20	67	34	14	58	36	16	72	58	12	

* вес 1000 шт.



Рис. 4. Прививка караганы древовидной ф. пирамидальная «Несравненная ВНИАЛМИ», г. Волгоград

Fig. 4. Inoculation of *Caragana arborescens* f. *pyramidalis* «Incomparable VNIALMI», Volgograd

Положительного влияния биостимуляторов на рост и сохранность опытных растений не обнаружено, за исключением тополей и тамарикса. У этих растений к концу вегетации прирост достиг 80...100 см, что вдвое выше, чем у контрольных образцов.

Если оценивать зеленое черенкование, то применение тех же доз биостимуляторов дало отрицательный результат (табл. 3), что, возможно, связано с их повышенными дозами.

В период исследований были выполнены прививки пирамидальной караганы «Несравненная ВНИАЛМИ» на подвой караганы древовидной. Привойный материал заготавливали с маточных деревьев, растущих на коллекционном участке селекционно-семеноводческого центра Волгоградского лесхоза. Были опробованы следующие способы прививок: простая копулировка, за кору; в раскол/расщеп. Прививочные работы начали с 6 апреля, а завершили 24 мая. Наряду с обвязкой места прививки полихлорвиниловой лентой, защищали их от сухости воздуха с помощью полиэтиленовых пакетов.

Срастание прививок наблюдали через 15...20 сут. При этом почки (чаще одна) на привое трогались в рост (рис. 4). В этот период важно своевременно снять полиэтиленовые пакеты, так как образовавшиеся побеги могут погибнуть от перегрева в жаркую солнечную погоду.

Установлено, что приживаемость прививок караганы древовидной ф. пирамидальной (*Caragana arborescens* Lam.) зависит от способа прививки (табл. 4). Лучшую приживаемость (до 70,0 %) привоя наблюдали при прививке способом за кору. Техника выполнения этой прививки проще, поскольку не требуется полного совмещения срезов подвой и привоя.

Т а б л и ц а 2

Влияние регуляторов роста на приживаемость и рост одревесневших черенков гибридных форм, средние показатели за два года

Effect of growth regulators on survival and growth of lignified cuttings of hybrid forms, average over two years

Биостимулятор	Гибридная форма (сорта)	Приживаемость, %	Текущий прирост, см*
Старт, 10 мл/л	Карагана ф. пирамидальная (<i>Caragana arborescens</i> Lam.)	62	2,5 ± 0,41
	Тополь черный «Валкера» (<i>Populus nigra</i> L.)	100	2,0 ± 0,38
	Тополь Болле «Камышинский» (<i>Populus bolleana</i> Lauche.)	53	15,0 ± 6,11
	Тамарикс «Майский снег» (<i>Tamarix</i> L.)	46	48,1 ± 1,18
	Гледичия безколючковая (<i>Gledicia triacantos f. intermis</i> L.)	75	1,0 ± 0,09
	Робиния лжеакация мачтовая (<i>Robinia pseudoacacia</i> L.)	45	1,1 ± 0,06
	Вяз гибридный «Памяти Гельмута Маттиса» (<i>Hybrid ulmus</i>)	33	3,5 ± 0,54
Старт, 20 мл/л	Карагана ф. пирамидальная (<i>Caragana arborescens f. pyramidalis</i> Lam.)	56	2,0 ± 0,24
	Тополь черный «Валкера» (<i>Populus nigra</i> L.)	100	16,0 ± 0,12
	Тополь Болле «Камышинский» (<i>Populus bolleana</i> Lauche.)	16	26,0 ± 2,02
	Робиния лжеакация мачтовая (<i>Robinia pseudoacacia</i> L.)	40	1,2 ± 0,09
	Тамарикс «Майский снег» (<i>Tamarix</i> L.)	39	30,0 ± 2,05
	Гледичия безколючковая (<i>Gledicia triacantos f. intermis</i> L.)	33	1,2 ± 0,09
	Вяз гибридный «Памяти Гельмута Маттиса» (<i>Hybrid ulmus</i>)	38	2,0 ± 0,04
Корневин, 1 г/л	Карагана ф. пирамидальная (<i>Caragana arborescens f. pyramidalis</i> Lam.)	47	2,0 ± 0,07
	Тополь черный «Валкера» (<i>Populus nigra</i> L.)	67	17,1 ± 2,13
	Тополь Болле «Камышинский» (<i>Populus bolleana</i> Lauche.)	20	28,1 ± 3,04
	Робиния лжеакация мачтовая (<i>Robinia pseudoacacia</i> L.)	17	1,5 ± 0,08
	Тамарикс «Майский снег» (<i>Tamarix</i> L.)	15	36,0 ± 3,24
	Гледичия безколючковая (<i>Gledicia triacantos f. intermis</i> L.)	58	1,0 ± 0,07
	Вяз гибридный «Памяти Гельмута Маттиса» (<i>Hybrid ulmus</i>)	61	2,5 ± 6,12
Контрольные образцы без стимулятора	Карагана ф. пирамидальная (<i>Caragana arborescens f. pyramidalis</i> Lam.)	64	22,5 ± 4,13
	Тополь черный «Валкера» (<i>Populus nigra</i> L.)	67	6,0 ± 0,17
	Тополь Болле «Камышинский» (<i>Populus bolleana</i> Lauche.)	5	11,2 ± 1,13
	Тамарикс «Майский снег» (<i>Tamarix</i> L.)	49	37,0 ± 1,45
	Гледичия безколючковая (<i>Gledicia triacantos f. intermis</i> L.)	67	1,5 ± 0,07
	Робиния лжеакация мачтовая (<i>Robinia pseudoacacia</i> L.)	33	1,1 ± 0,08
	Вяз гибридный «Памяти Гельмута Маттиса» (<i>Hybrid ulmus</i>)	54	1,0 ± 0,09

*Здесь и далее, ± — относительная погрешность измерений.

Т а б л и ц а 3

Влияние биостимуляторов на сохранность и развитие зеленых черенков гибридных форм тополя и тамарикса в Камышине, средние показатели за два года

The effect of growth stimulants on the preservation and development of green cuttings of hybrid forms of poplar and tamarisk in Kamyshin, average for two years

Биостимулятор	Гибридные формы (сорта)	Сохранность, % на 15.09.2021 г. (2-летний период)	Годичный прирост, см
Биостим Старт, 10 мл/л	Тополь пирамидальный (<i>Populus pyramidalis</i>)	12	25 ± 4,11
	Тамарикс «Майский снег» (<i>Tamarix</i>)	28	35 ± 5,12
Корневин, 1 г/л	Тополь пирамидальный (<i>Populus pyramidalis</i>)	32	24 ± 4,06
	Тамарикс «Майский снег» (<i>Tamarix</i>)	28	21 ± 3,18
Контрольные образцы без стимулятора	Тополь пирамидальный (<i>Populus pyramidalis</i>)	—	—
	Тамарикс «Майский снег» (<i>Tamarix</i>)	44	45 ± 2,23

Т а б л и ц а 4

Приживаемость и сохранность прививок караганы древовидной ф. пирамидальная (*Caragana arborescens* Lam.), средние показатели за два года

Survival rate and safety of inoculations of *Caragana arborescens* Lam., average for two years

Способ прививки	Приживаемость, %	Сохранность в осенний период, %	Прирост, см
Раскол/врасщеп	52,0	42,1	25,3 ± 3,12
За кору/простая копулировка	70,0	58,3	43,8 ± 1,54
Простая копулировка	43,8	20,8	29,1 ± 4,45

Т а б л и ц а 5

Влияние сроков прививки караганы (способом за кору) на приживаемость черенков

The effect of the timing of inoculation of karagana (for bark) on the survival of cuttings

Срок прививки, место	Приживаемость прививки, %	Сохранность, %	Прирост, см	Число приростов, шт.
6.IV, Волгоград	45,8	50,8	50...150	1,2
28.IV–30.IV, Камышин	75,7	40,7	20...50	1,0
5.V–6.V, Дубовка	40,9	35,9	10...20	1,0
14.V–20.V, Новоаннинский район	32,7	27,1	0,5...5,0	1,0

Т а б л и ц а 6

Рост и сохранность прививок караганы древовидной ф. пирамидальная (*Caragana arborescens* Lam.) в зависимости от толщины подвоя, средние показатели за два года

Growth and safety of *Caragana* inoculations depending on the thickness of the rootstock, average for two years

Способ прививки	Диаметр подвоя, см	Приживаемость, %	Сохранность, %	Прирост, см
За кору/простая копулировка	0,3...0,5	58,4	35,7	29,9 ± 5,16
	0,6...0,8	79,5	54,5	65,0 ± 1,00
Простая копулировка	0,3...0,5	29,5	15,1	18,5 ± 3,66
	0,6...0,8	41,8	30,4	31,8 ± 2,12

При способе прививки за кору отмечается высокая осенняя сохранность вследствие хорошего срастания подвоя с привоем. Ценность прививки врасщеп заключается в возможности начать прививочные работы до начала активного сокодвижения, т. е. в конце марта — начале апреля и таким образом продлить срок прививочных работ. Наблюдались зависимость приживаемости черенков, их роста и сохранности от срока прививки (табл. 5). При прививке способом за кору лучшие результаты у караганы получены в конце апреля — 75,7 %, а осенняя сохранность была выше при выполнении прививочных работ в начале апреля. В этот срок наблюдали наиболее активный рост главного побега на прививке, а у 20 % привитых саженцев отмечен вторичный прирост побегов (в июне). В конце мая проводить прививочные работы не целесообразно, так как при отсутствии полива и в сухую жаркую погоду наряду с низкой приживаемостью в течение лета наблюдается большой выпад прививок, а у сохранившихся прирост составляет 0,5...5,0 см.

Рост и сохранность прививок, как установлено, зависят от толщины подвоя (табл. 6). При

прививке способами за кору и простая копулировка лучшая приживаемость была при диаметре подвоя 0,6...0,8 см. При прививке способом простая копулировка на подвой толщиной менее 0,5 см сложно правильно наложить обвязку и прививочные поверхности плохо совмещаются или обламываются. Вследствие этого при большом количестве подвойного материала диаметром менее 0,5 см лучше прививать саженцы способом за кору, подбирая черенки нужной толщины.

Выводы

Методы размножения древесных растений основаны на выборе оптимальных сроков для их черенкования, соответствующих климатических условий, субстратов, препаратов для стимуляции роста и развития и на создании благоприятных условий для пересадки и перезимовки корнесобственных саженцев. В процессе селекционной инвентаризации выделены наилучшие образцы для последующей селекции и выведения новых сортов: *Caragana arborescens* Lam., *Populus nigra* L., *Populus bolleana* Lauche., *Tamarix* L., *Gleditsia triacanthos* f. *Inermis* L. На основании

данных многолетних наблюдений установлено, что наиболее ценными вегетативными и репродуктивными признаками обладает Робиния мачтовой и пирамидальной форм. В настоящее время представляется вполне возможным ускорение процессов первичного селекционного отбора и выращивания рекомендованных древесных видов в регионах с жесткими погодными условиями.

Работа выполнена по теме Государственного задания № 0713-2019-0009 «Теоретические основы, создание новых конкурентоспособных биотипов сельскохозяйственных культур с высокими показателями продуктивности, качества, устойчивости и сортовые технологии на основе новейших методов и технологических решений в условиях изменяющегося климата».

Список литературы

- [1] Агролесомелиорация / под ред. А.Л. Иванова, К.Н. Кулика. Волгоград: Изд-во ВНИАЛМИ, 2006. 746 с.
- [2] Дервояд А.Г., Плаксина Е.А. Оценка состава и состояния древесно-кустарниковых насаждений г. Волжского Волгоградской области // Аллея науки, 2016. № 4. С. 289–292.
- [3] Латкина Т.В., Латкин В.Н. Состояние лесозащитных полос в Волгоградской области // Успехи современного естествознания, 2018. № 9. С. 93–100.
- [4] Стратегия развития защитного лесоразведения в Российской Федерации до 2025 года. Волгоград: Изд-во ВНИАЛМИ, 2015. 35 с.
- [5] Фадеев И.А., Колмукиди С.В. Искусственные лесные насаждения Волгоградской области и их состояние // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика, 2015. Т. 3. № 4–2(15–2). С. 129–132. DOI 10.12737/14101
- [6] Кулик К.Н. Development of protective afforestation in the Russian Federation in connection with climate risks in agriculture // Ученые записки Таврического национального университета имени В.И. Вернадского. Сер.: География, 2014. Т. 27 (66). № 2. С. 59–64.
- [7] Буданцев А.Л., Лесиовская Е.Е. Дикорастущие полезные растения России. СПб.: Изд-во СПХФА, 2001. 663 с.
- [8] Гордеев А.В., Клещенко А.Д., Черняков Б.А., Сиротенко О.Д. Биоклиматический потенциал России: теория и практика. М.: Т-во научных изданий КМК, 2006. 512 с.
- [9] Данилов Ю.И., Джикович Ю.В., Ильин В.А. Лесные культуры. Лесомелиорация ландшафтов. СПб.: Изд-во СПбГЛТУ, 2009. 76 с.
- [10] Залесов С. В., Платонов Е.П., Залесова Е.С., Оплетав А.С., Данчева А.В., Крекова Я. А. Изучение перспективности древесных интродуцентов. Екатеринбург: Изд-во Уральского государственного лесотехнического ун-та, 2014. 13 с.
- [11] Горбылева Е.Л., Боровский Г.Б. Биостимуляторы роста и устойчивости растений терпеноидной природы и другие биологически активные соединения, полученные из хвойных пород // Изв. вузов. Прикладная химия и биотехнология, 2018. Т. 8. № 4(27). С. 32–41. DOI 10.21285/2227-2925-2018-8-4-32-41
- [12] Абдраков Б.К., Кашкынбаева Л.Б., Толтаева Б.С. О физико-химической модели экологически чистых биостимуляторов роста растений // Наука, образование и культура, 2020. № 5(49). С. 5–9.
- [13] Адилхан Б.А., Айткулова Р.Э., Айменова Ж.Е. Влияние биостимуляторов на рост и развитие растений // Науч. тр. ЮКГУ им. М. Ауэзова, 2017. № 3(42). С. 3–6.
- [14] Попова В.П., Оплачко Р.А., Оплачко Е.А. Перспектива применения биостимуляторов роста для повышения устойчивости и стабильности плодоношения плодовых культур // Плодоводство и виноградарство Юга России, 2021. № 72(6). С. 176–221. DOI 10.30679/2219-5335-2021-6-72-176-221
- [15] Концевая И.И., Толкачева Т.А., Денисова С.И., Чиркин А.А. Биостимуляция роста и развития растений // Охраняемые природные территории и объекты Белорусского Поозерья: современное состояние, перспективы развития: III Междунар. науч. конф. Витебск, 16–17 декабря 2009 г. Витебск: Изд-во Витебского государственного университета им. П.М. Машерова, 2009. С. 123–125.
- [16] Щербяков Н.А., Винтер М.А. Совершенствование агротехнологических приемов в плодовом питомнике // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета, 2018. № 135. С. 180–187. DOI 10.21515/1990-4665-135-019
- [17] Ивонин В.М. Лесные мелиорации ландшафтов. Ростов-на-Дону: Изд-во СКНЦ ВШ, 2004. 280 с.
- [18] Мартынов А.Н., Мельников Е.С., Ковязин В.Ф., Аникин А.С., Минаев В.Н., Беляева Н.В. Основы лесного хозяйства и таксация леса. СПб.: Лань, 2008. 372 с.
- [19] Михин В.И. Лесомелиорация ландшафтов. Воронеж: Изд-во Воронежского государственного лесотехнического университета им. Г.Ф. Морозова, 2006. 127 с.
- [20] Новосельцева А.И., Родин А.Р. Справочник по лесным культурам. М.: Лесная пром-ть, 1984. 312 с.
- [21] Новосельцева А.И., Смирнов Н.А. Справочник по лесным питомникам. М.: Лесная пром-ть, 1983. 280 с.
- [22] Руководство по селекционному семеноводству древесных видов для защитного лесоразведения в аридных условиях европейской территории России. М.: Изд-во РАСХН, 2001. 71 с.
- [23] Проект реконструкции лесного участка в Жирновском лесничестве Волгоградской области. URL: <http://refleader.ru/jgeqasujgqasmer.html> (дата обращения 07.09.2021).
- [24] Указания по лесному семеноводству в Российской Федерации. М.: Рослесхоз, 2000. 198 с.
- [25] Галдина Т.Е., Хазова Е.П. Влияние климатогеографических факторов на адаптационную способность сосны обыкновенной // Лесотехнический журнал. 2020. Т. 10. № 3(39). С. 35–42. DOI 10.34220/issn.2222-7962/2020.3/4

Сведения об авторах

Крючков Сергей Николаевич — д-р с.-х. наук, профессор, гл. науч. сотр. лаборатории селекции, семеноводства и питомниководства, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук»

Солонкин Андрей Валерьевич — д-р с.-х. наук, зав. лабораторией селекции, семеноводства и питомниководства, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук»

Соломенцева Александра Сергеевна [✉] — канд. с.-х. наук, ст. науч. сотр. лаборатории селекции, семеноводства и питомниководства, Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук, alexis2425@mail.ru

Романенко Алмагуль Кадыргалиевна — мл. науч. сотр. лаборатории селекции, семеноводства и питомниководства, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук», alexis2425@mail.ru

Егоров Сергей Анатольевич — мл. науч. сотр. лаборатории селекции, семеноводства и питомниководства, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук»

Поступила в редакцию 21.01.2022.

Одобрено после рецензирования 25.02.2022.

Принята к публикации 18.05.2022.

MODERN BIOSTIMULANTS AND GROWTH REGULATORS FOR NURSERY BREEDING IN CONDITIONS OF DEGRADATION AND DESERTIFICATION

S.N. Kryuchkov, A.V. Solonkin, A.S. Solomentseva [✉],
A.K. Romanenko, S.A. Egorov

Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation, of the Russian Academy of Sciences, 97, University av., 400062, Volgograd, Russia

alexis2425@mail.ru

The results of testing the preparations «Biostim Start», «Kornevin», «Agrovit Core» on experimental samples of tree species growing in various districts of the Volgograd region for the period 2019–2021 are presented. The method of grafting into the cleft, simple and for the bark on the caragana variety of the selection of the Federal Research Centre of Agroecology of the Russian Academy of Sciences has been tested. The objects of research were 10 species from the genera *Populus*, *Gleditsia*, *Caragana*, *Tamarix*, *Robinia*, *Ulmus*. It was found that the soil germination of *Gleditsia vulgaris* was the best in the variant with the introduction of the super fertilizer «Agrovit Core» at a dose of 5...90 g/m². The best result was noted in the experiment with the use of the drug «Biostim Start» with different doses of application in poplar and *Tamarix* species, which showed a record increase in arid conditions (from 80 to 100 cm), which was 2 times higher than in control samples. It was determined that during cuttings, an increased dose of introduction of growth regulators and biostimulators can reduce the percentage of preservation and development of green cuttings of woody species. The best result is given (up to 70% survival rate of rootstocks of experimental plants), in particular, autumn grafting for bark — the best autumn preservation and gains with a rootstock thickness of 0,3...0,8 cm. For further breeding work and experiments on the breeding of new varieties, the best species were selected — *Caragana arborescens* Lam., *Populus nigra* L., *Populus bolleana* Lauche., *Tamarix* L., *Gleditsia triacanthos* f. *Inermis* L. They have shown the best results in the conditions of the sharply continental climate of the arid region and are suitable for agroforestry development of the territory of the Lower Volga region.

Keywords: biostimulants of growth; inoculation; growth; development; desertification; forest plantation

Suggested citation: Kryuchkov S.N., Solonkin A.V., Solomentseva A.S., Romanenko A.K., Egorov S.A. *Primenenie sovremennykh biostimulyatorov i regulyatorov rosta dlya pitomnikovodstva v usloviyakh degradatsii i opustynivaniya* [Modern biostimulants and growth regulators for nursery breeding in conditions of degradation and desertification]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 4, pp. 29–38.

DOI: 10.18698/2542-1468-2022-4-29-38

References

- [1] *Agrolesomelioratsiya* [Agroforestry]. Ed. A.L. Ivanova, K.N. Kulik. Volgograd: VNIALMI, 2006, 746 p.
- [2] Dervoed A.G., Plaksina E.A. *Otsenka sostava i sostoyaniya drevesno-kustarnikovykh nasazhdeniy g. Volzhskogo Volgogradskoy oblasti* [Assessment of the composition and condition of tree and shrub plantations in the city of Volzhsky, Volgograd Region]. *Alleya nauki* [Alley of Science], 2016, no. 4, pp. 289–292.

- [3] Latkina T.V., Latkin V.N. *Sostoyanie lesozashchitnykh polos v Volgogradskoy oblasti* [The state of forest shelterbelts in the Volgograd region]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Successes of modern natural sciences], 2018, no. 9, pp. 93–100.
- [4] *Strategiya razvitiya zashchitnogo lesorazvedeniya v Rossiyskoy Federatsii do 2025 goda* [Strategy for the development of protective afforestation in the Russian Federation until 2025]. Volgograd: VNIALMI Publishing House, 2015, 35 p.
- [5] Fadeev I.A., Kolmukidi S.V. *Iskusstvennye lesnye nasazhdeniya Volgogradskoy oblasti i ikh sostoyanie* [Artificial forest plantations of the Volgograd region and their condition]. *Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika* [Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice], 2015, v. 3, no. 4–2 (15–2), pp. 129–132. DOI 10.12737/14101
- [6] Kulik K.N. *Development of protective afforestation in the Russian Federation in connection with climate risks in agriculture*. [Development of protective afforestation in the Russian Federation in connection with climate risks in agriculture]. *Uchenye zapiski Tavricheskogo natsional'nogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Seriya: Geografiya* [Scientific notes of the Taurida National University named after V.I. Vernadsky. Series: Geography], 2014, v. 27 (66), no. 2, pp. 59–64.
- [7] Budantsev A.L., Lesiovskaya E.E. *Dikorastushchie poleznye rasteniya Rossii* [Wild useful plants of Russia]. St. Petersburg: SPHFA Publishing House, 2001, 663 p.
- [8] Gordeev A.V., Kleshchenko A.D., Chernyakov B.A., Sirotenko O.D. *Bioklimaticheskiy potentsial Rossii: teoriya i praktika* [Bioclimatic potential of Russia: theory and practice]. Moscow: Association of scientific publications KMK, 2006, 512 p.
- [9] Danilov Yu.I., Dzhikovich Yu.V., Il'in V.A. *Lesnye kul'tury. Lesomelioratsiya landshaftov* [Forest cultures. Forest reclamation of landscapes]. St. Petersburg: SPbGLTU, 2009, 76 p.
- [10] Zalesov S.V., Platonov E.P., Zalesova E.S., Opletaev A.S., Dancheva A.V., Krekova Ya.A. *Izucheniye perspektivnosti drevesnykh introdutsentov* [Study of the prospects of woody introducers]. Ekaterinburg: Ural State Forestry University, 2014, 13 p.
- [11] Gorbyleva E.L., Borovskiy G.B. *Biostimulyatory rosta i ustoychivosti rasteniy terpenoidnoy prirody i drugie biologicheski aktivnyye soedineniya, poluchennyye iz khvoynykh porod* [Biostimulators of growth and resistance of plants of terpenoid nature and other biologically active compounds obtained from conifers]. *Izvestiya vuzov. Prikladnaya khimiya i biotekhnologiya* [Izvestiya vuzov. Applied Chemistry and Biotechnology], 2018, v. 8, no. 4(27), pp. 32–41. DOI 10.21285/2227-2925-2018-8-4-32-41
- [12] Abdrakov B.K., Kashkynbaeva L.B., Toltaeva B.S. *O fiziko-khimicheskoy modeli ekologicheskii chistykh biostimulyatorov rosta rasteniy* [On the physicochemical model of environmentally friendly plant growth biostimulators]. *Nauka, obrazovanie i kul'tura* [Science, education and culture], 2020, no. 5(49), pp. 5–9.
- [13] Adilkhan B.A., Aytkulova R.E., Aymenova Zh.E. *Vliyanie biostimulyatorov na rost i razvitie rasteniy* [Influence of biostimulants on the growth and development of plants]. *Nauchnye trudy YuKGU im. M. Auezova* [Scientific works of SKGU im. M. Auezov], 2017, no. 3(42), pp. 3–6.
- [14] Popova V.P., Oplachko R.A., Oplachko E.A. *Perspektiva primeneniya biostimulyatorov rosta dlya povysheniya ustoychivosti i stabil'nosti plodonosheniya plodovyykh kul'tur* [The prospect of using growth biostimulants to increase the sustainability and stability of fruiting fruit crops]. *Plodovodstvo i vinogradarstvo Yuga Rossii* [Fruit growing and viticulture of the South of Russia], 2021, no. 72(6), pp. 176–221. DOI 10.30679/2219-5335-2021-6-72-176-221
- [15] Kontsevaya I.I., Tolkacheva T.A., Denisova S.I., Chirkin A.A. *Biostimulyatsiya rosta i razvitiya rasteniy* [Biostimulation of plant growth and development]. *Okhranyaemye prirodnye territorii i ob'ekty Belorusskogo Poozer'ya: sovremennoe sostoyanie, perspektivy razvitiya: III Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya* [Protected natural areas and objects of the Belarusian Lakeland: current state, development prospects: III International Scientific Conference]. Vitebsk, December 16–17, 2009. Vitebsk: Vitebsk State University P.M. Masherova, 2009, pp. 123–125.
- [16] Shcherbakov N.A., Vinter M.A. *Sovershenstvovanie agrotekhnologicheskikh priemov v plodovom pitomnike* [Improvement of agrotechnological methods in the fruit nursery]. *Politematicheskii setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University], 2018, no. 135, pp. 180–187. DOI 10.21515/1990-4665-135-019
- [17] Ivonin V.M. *Lesnye melioratsii landshaftov* [Forest melioration of landscapes]. Rostov-on-Don: SKNTS VSh, 2004, 280 p.
- [18] Martynov A.N., Mel'nikov E.S., Kovyazin V.F., Anikin A.S., Minaev V.N., Belyaeva N.V. *Osnovy lesnogo khozyaystva i taksatsiya lesa* [Fundamentals of forestry and forest inventory]. St. Petersburg: Lan, 2008, 372 p.
- [19] Mikhin V.I. *Lesomelioratsiya ladshaftov* [Forest reclamation of landscapes]. Voronezh: Voronezh State Forest Engineering University named after G.F. Morozova, 2006, 127 p.
- [20] Novosel'tseva A.I., Rodin A.R. *Spravochnik po lesnym kul'turam* [Handbook of forest cultures]. Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1984, 312 p.
- [21] Novosel'tseva A.I., Smirnov N.A. *Spravochnik po lesnym pitomnikom* [Handbook of forest nurseries]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forestry], 1983, 280 p.
- [22] *Rukovodstvo po selektsionnomu semenovodstvu drevesnykh vidov dlya zashchitnogo lesorazvedeniya v aridnykh usloviyakh evropeyskoy territorii Rossii* [Guidelines for selective seed production of tree species for protective afforestation in arid conditions of European Russia]. Moscow: RAAS, 2001, 71 p.
- [23] *Proekt rekonstruktsii lesnogo uchastka v Zhirnovskom lesnichestve Volgogradskoy oblasti* [Project for the reconstruction of a forest area in the Zhirnovsky forestry of the Volgograd region]. Available at: <http://refleader.ru/jgeqasujqgasmer.html> (accessed 07.09.2021).
- [24] *Ukazaniya po lesnomu semenovodstvu v Rossiyskoy Federatsii* [Instructions on forest seed production in the Russian Federation]. Moscow: Rosleskhoz, 2000, 198 p.
- [25] Galdina T.E., Khazova E.P. *Vliyanie klimatogeograficheskikh faktorov na adaptatsionnuyu sposobnost' sosny obyknovennoy* [Influence of climatic and geographical factors on the adaptive capacity of Scotch pine]. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Lesotechnical journal], 2020, v. 10, no. 3(39), pp. 35–42. DOI 10.34220/issn.2222-7962/2020.3/4

The work was carried out by the State assignment No. 0713-2019-0009 «Theoretical foundations, the creation of new competitive biotypes of agricultural crops with high productivity, quality, sustainability and varietal technologies based on the latest methods and technological solutions in a changing climate».

Authors' information

Kryuchkov Sergei Nikolaevich — Dr. Sci. (Agriculture), Professor, Chief Researcher of the Laboratory of Selection, seed and nursery production of the Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences

Solonkin Andrei Valer'evich — Dr. Sci. (Agriculture), Head of the Laboratory of Selection, seed and nursery production of the Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences

Solomentseva Aleksandra Sergeevna [✉] — Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher of the Laboratory of Selection, seed and nursery production of the Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, alexis2425@mail.ru

Romanenko Almagul' Kadyrgalievna — Junior Researcher of the Laboratory of Selection, seed and nursery production of the Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, alexis2425@mail.ru

Egorov Sergei Anatol'evich — Junior Researcher of the Laboratory of Selection, seed and nursery production of the Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation, of the Russian Academy of Sciences

Received 21.01.2022.

Approved after review 25.02.2022.

Accepted for publication 18.05.2022.

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

КОНДЕНСАТ СУШКИ ДРЕВЕСИНЫ КАК АКТИВАТОР ЭНЕРГИИ ПРОРАСТАНИЯ И ВСХОЖЕСТИ СЕМЯН СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ *PINUS SYLVESTRIS* L.

Н.Р. Сунгурова✉, А.А. Дрочкова, Н.П. Гаевский,
Н.В. Волыхина, Н.А. Бабич

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

n.sungurova@narfu.ru

Искусственное восстановление сосны обыкновенной зачастую происходит с помощью семян среднего или низкого качества, что обусловлено отсутствием или нехваткой высококачественного сырья. Решением этой проблемы может служить использование препаратов, улучшающих качественные характеристики семян. Изучено влияние ростостимулятора — конденсата, образующегося в процессе сушки древесины в сушильной камере деревообрабатывающего предприятия на всхожесть и энергию прорастания семян сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L. В опытах использовали стимулятор разной концентрации и с разными сроками замачивания. Исследованиями установлено, что лучшие показатели всхожести семян 97 % и энергии прорастания 87 % получены при замачивании их в неразбавленном конденсате (100%-й концентрации) на 24 ч. Чуть ниже значения этих показателей при замачивании семян на период 6 и 12 ч. В ходе анализа результатов эксперимента выяснилось, что исследуемое вещество влияет на способность обрабатываемых семян противостоять загниванию.

Ключевые слова: семена, сосна обыкновенная, *Pinus sylvestris* (L.), всхожесть, энергия прорастания, конденсат

Ссылка для цитирования: Сунгурова Н.Р., Дрочкова А.А., Гаевский Н.П., Волыхина Н.В., Бабич Н.А. Конденсат сушки древесины как активатор энергии прорастания и всхожести семян сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L. // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 4. С. 39–45.
DOI: 10.18698/2542-1468-2022-4-39-45

Качество посевного материала во многом определяет успешность выращенных стандартных сеянцев, устойчивых к бактериальным и грибковым заболеваниям [1–4]. В настоящее время доступно относительно большое количество стимуляторов, использующихся именно для улучшения биологического потенциала как семян, так и сеянцев деревьев и кустарников. Многие из известных стимуляторов древесных пород изначально активно применялись для сельскохозяйственных культур [5]. Например, циркон (изготовленный из растительного сырья эхинацеи) обладает ростостимулирующими и защитными свойствами: обеспечивает увеличение всхожести и ускорение прорастания семян овощных, зерновых, плодовых и декоративных культур, ослабленных длительным хранением, стимулирует рост сеянцев, снижает степень поражения фитопатогенными грибами [6]. Применяя его на семенах сосны Банкса (*Pinus banksiana* Lamb.), авторы работы [7] пришли к выводу, что циркон не дает положительных результатов.

Однако существуют и такие стимуляторы, которые специально разрабатывались непосред-

ственно для определенных видов деревьев с учетом особенностей развития их посадочного материала [8–12]. Для семян и сеянцев сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L. подобраны ростостимулирующие вещества, которые улучшают их качественные характеристики [13–16]. Авторы работы [17] отметили положительный результат обработки перед посевом семян сосны экстрактом чаги как профилактическое мероприятие фузариозного полегания сеянцев.

Тем не менее, поиск новых препаратов, эффективно стимулирующих всхожесть семян и рост сеянцев, остается актуальным по сегодняшний день [18]. Это можно объяснить неэкономичностью и не экологичностью многих используемых препаратов [19–22].

В качестве стимулятора активации энергии прорастания и всхожести семян можно использовать конденсат агента сушки древесины, который содержит многообразные компоненты [23–24].

Цель работы

Цель работы — изучение влияния биологически активных веществ на посевные качества семян сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L.

Материалы и методы

Эксперимент заключался в исследовании воздействия на семена сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L. изучаемого вещества — конденсата, образующегося в процессе сушки древесины. Конденсат собирали в специальное устройство сушильной камеры при сушке пиломатериалов



Рис 1. Проращивание обработанных конденсатом семян сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L. в климаточкамере «Фитотрон-30»

Fig. 1. Germination of condensate-treated pine seeds in the «Phytotron-30» climate chamber

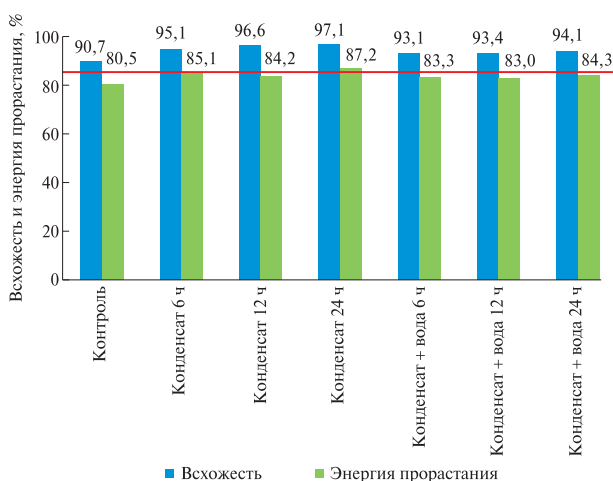


Рис. 2. Всхожесть и энергия прорастания обработанных конденсатом семян сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L. (всхожесть семян 1-го класса качества согласно ГОСТ 14161–86) [19]

Fig. 2. Germination and germinative energy of condensate-treated *Pinus sylvestris* L. seeds (seeds germination of the 1st quality class according to GOST 14161–86) [19]

на Соломбальском перерабатывающем лесокомбинате в объеме 5 л. Установлено, что из 1 м³ древесины при сушке испарением удаляется 300...500 кг влаги в виде раствора макро- и микроэлементов и других компонентов [25]. Конденсат использовался в двух вариантах: 100%-й концентрации и 50%-й концентрации, разбавленный водой. Опыты проводили весной 2021 г. в лабораторных условиях на специализированном оборудовании. Было заложено семь вариантов исследования в четырех повторностях. Для каждой повторности отбирали 10 проб по 100 шт. семян. Контролем служили необработанные семена.

Для исследований был использован посевной материал сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L. 1-го класса качества, заготовленный Вологодским лесничеством. Семена проращивали в климаточкамере «Фитотрон-30», которая позволяет регулировать освещенность, температуру, длину светового дня посредством задания параметров прибору через встроенный микрокомпьютер (рис. 1). Параметры задавались согласно с ГОСТ 13056.6–97 [26]. Постоянная температура воды и ложа для проращивания 24 °С, освещенность 40 000 Лк обеспечивалась на протяжении 8 ч. Семена предварительно замачивали на 6, 12, 24 ч в приготовленных заранее препаратах. Проращивание проводилось на фильтровальных кружках, наложенных на фланелевые фитильки. Оценку и учет проросших семян проводят на 5-й, 7-й, 10-й и 15-й день. В день окончательного учета всхожести, оставшиеся на ложе семена разрезают вдоль зародыша, отдельно по каждой пробе, и определяют количество здоровых, ненормально проросших, загнивших, запаренных, беззародышевых и пустых семян [27, 28].

Основными показателями качества семян являются всхожесть и энергия прорастания семян. Всхожесть семян сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L. определяется на 15-й день проращивания, а энергия прорастания на 7-й день. При определении всхожести учитывались различные категории семян.

Для обработки полученных данных применяли пакет программ Microsoft Office Excel, при этом достоверность составляла 95 %.

Результаты и обсуждение

Выявлено влияние конденсата, образующегося в процессе сушки древесины, на качественные показатели семян сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L. — всхожесть и энергию их прорастания. Семена замачивали на различные временные промежутки в чистом конденсате и в конденсате, разбавленном дистиллированной водой в соотношении 1:1 (рис. 2).

Т а б л и ц а 1

Статистически обработанные результаты проращивания семян сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L., замоченных в конденсате

Statistically processed results of germination of *Pinus sylvestris* L. seeds soaked in condensate

Вариант опыта	Показатели качества семян	Среднее значение, %, с основной ошибкой	Среднее квадратическое отклонение, %	Коэффициент изменчивости, %	Точность опыта, %	Достоверность среднего значения
1	Всхожесть	95,10 ± 0,46	1,45	1,52	0,48	207,53
	Энергия прорастания	85,10 ± 0,18	0,57	0,21	2,381	474,08
2	Всхожесть	96,60 ± 0,22	1,633	0,70	0,23	436,89
	Энергия прорастания	84,20 ± 0,29	0,92	1,07	0,34	296,63
3	Всхожесть	97,10 ± 0,41	1,29	1,33	0,42	238,64
	Энергия прорастания	87,20 ± 0,51	1,62	1,86	0,59	170,29
4	Всхожесть	93,10 ± 0,18	0,57	0,61	0,19	518,65
	Энергия прорастания	83,30 ± 0,37	1,16	1,39	0,44	227,18
5	Всхожесть	93,40 ± 0,31	0,97	1,03	0,33	305,72
	Энергия прорастания	83,00 ± 0,26	0,82	0,98	0,31	321,46
6	Всхожесть	94,10 ± 0,23	0,74	0,78	0,25	403,29
	Энергия прорастания	84,30 ± 0,21	0,67	0,80	0,25	394,96
Контроль	Всхожесть	90,70 ± 0,26	0,82	0,91	0,29	348,39
	Энергия прорастания	80,50 ± 0,27	0,85	1,06	0,33	299,54

Исследования проведены по следующим вариантам опыта:

1) замачивание семян на 6 ч в конденсате 100%-й концентрации;

2) замачивание семян на 12 ч в конденсате 100%-й концентрации;

3) замачивание семян на 24 ч в конденсате 100%-й концентрации;

4) замачивание семян на 6 ч в конденсате, 50%-й концентрации, разбавленном дистиллированной водой 1:1;

5) замачивание семян на 12 ч в конденсате, 50%-й концентрации, разбавленном дистиллированной водой 1:1;

6) замачивание семян на 24 ч в конденсате, 50%-й концентрации, разбавленном дистиллированной водой 1:1;

7) контроль.

Конденсат в чистом виде увеличил показатели всхожести и энергии прорастания семян. Статистически обработанные данные экспериментов (табл. 1, 2) указывают на то, что наилучший результат по всхожести и энергии прорастания семян отмечается в варианте опыта, где использовался неразбавленный конденсат с продолжительностью замачивания семян 24 ч.

Их всхожесть составила 97,1 %, а энергия прорастания — 87,2 %, что значительно выше показателя, приведенного в ГОСТ 14161–86 [19]. Чуть ниже результаты показали варианты опыта с неразбавленным концентратом с временем замачивания 6 и 12 часов. Всхожесть и энергия прорастания семян в этих вариантах 95...96 % и 85...84 % соответственно.

Т а б л и ц а 2

Существенность различий между средними значениями показателей качества семян сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L. (контроль)

Differences between the average values of quality indicators of Scots pine *Pinus sylvestris* L. (control) seeds

Вариант опыта	Существенность различий между средними значениями	
	всхожесть	энергия прорастания
1	8,33	14,18
2	17,32	9,34
3	13,18	11,61
4	7,60	6,11
5	6,67	6,67
6	9,80	11,11

Существенность различий между средними значениями всхожести семян сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L. и контрольным вариантом наиболее высока в опыте с замачиванием семян в чистом конденсате с временем замачивания 12 ч и составляет 17,32 (см. табл. 2).

Энергия прорастания семян сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L., согласно проведенным опытам также зависит и от концентрации конденсата, и от продолжительности замачивания в данном растворе посевного материала (см. табл. 2). Так, существенность различий между средними значениями данного показателя составляет 14,18 в контрольном варианте и в варианте с замачиванием семян в чистом конденсате с временем замачивания 6 ч.

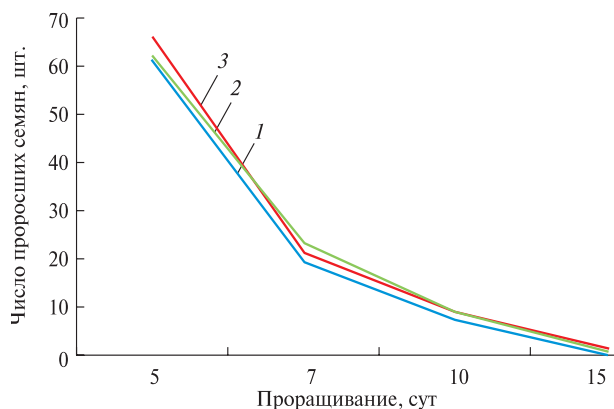


Рис. 3. Число проросших семян в дни наблюдений: 1 — контроль; 2 — конденсат (концентрация 1:1); 3 — конденсат без разбавления

Fig. 3. The number of germinated seeds on the observation days: 1 — control; 2 — condensate (concentration 1:1); 3 — condensate without dilution

Эксперименты с разбавлением конденсата дистиллированной водой в соотношении 1:1 показали результат хуже, что подтверждает преимущество использования конденсата в чистом виде. Время замачивания в данных опытах также влияет на результат. Наилучшие показатели были у семян, замоченных на 24 ч. Так тенденцию можно наблюдать во все дни проращивания (рис. 3): число проросших семян, замоченных перед проращиванием в неразбавленном концентрате, выше. Коэффициент корреляции составляет 0,99.

Анализируя результаты опытов нужно отметить, что обработка семян конденсатом повлияла на их способность противостоять загниванию. На защитные свойства препарата указывает незначительное количество загнивших семян, которое варьировало от 0 до 1 %, в то время как на контроле число загнивших семян составило 15 %. Это свидетельствует о том, что данное биологически активное вещество можно использовать в качестве защиты семян от различных болезнетворных бактерий.

Помимо улучшения показателей качества семян важно отметить и экологически чистую составляющую этого ростостимулятора, простоту его применения, экономичность и актуальное направление на сегодняшний момент — безотходность производства.

Выводы

Проведенные исследования показали эффективность применения конденсата, образующегося в процессе сушки древесины, на качественные показатели семян. При замачивании семян сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L. на 24 ч всхожесть их составила 97,1 %, энергия прорастания — 87,2 %. Также препарат показал свои защитные свойства: процент загнивших семян снизился и варьировал от 0 до 1.


Изучаемый конденсат оказывает ростостимулирующий и защитный эффект, дополненный такими достоинствами, как их малозатратное производство, легкость в применении и отсутствие токсичности и для человека, и для окружающей среды.

Список литературы

- [1] Бабич Н.А., Дрочкова А.А., Комарова А.М., Лебедева О.П., Андропова М.М. Вариативность массовых характеристик семян *Pinus sylvestris* L. в таежной зоне // ИВУЗ Лесной журнал, 2019. № 2. С. 141–147. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.141
- [2] Orians G.S. Diversity stability and naturity in natural ecosystem. Unifying Concepts in Ecology The Naque, Wageningen, 1975, pp. 20–26.
- [3] Usoltsev V.A., Vanclay J.K. Stand biomass dynamics of pine plantations and natural forests on dry steppe in Kazakhstan // Scandinavian J. of forest Research, 1995, v. 10, pp. 305–312.
- [4] Walther G.-R. Plants in a warmer world. Perspectives in Plant Ecology // Evolution and Systematics, 2003, v. 6/3, pp. 169–185.
- [5] Вакуленко В.В. Регуляторы роста // Защита и карантин растений, 2004. № 1. С. 24–46.
- [6] Проказин Н.Е., Лобанова Е.Н., Пентелькина Н.В., Казаков В.И., Ивановцева Г.И., Сахнов В.В., Чукарина А.В., Багаев С.С. Влияние биостимуляторов и микроудобрений на рост сеянцев хвойных пород // Лесохозяйственная информация, 2013. № 2. С. 9–15.
- [7] Острошенко В.В., Острошенко Л.Ю. Влияние стимуляторов на всхожесть семян и рост сеянцев сосны Банкса (*Pinus banksiana* Lamb.) // Вестник КрасГАУ, 2011. № 11(62). С. 85–92.
- [8] Алиев Э.В., Сиволапов А.И. Влияние предпосевной обработки семян на всхожесть и рост сеянцев сосны обыкновенной ростовыми веществами // Современные проблемы науки и образования, 2013. № 4. С. 369.
- [9] Кабанова С.А., Данченко М.А., Борцов В.А., Кочегаров И.С. Результаты предпосевной обработки семян сосны обыкновенной стимуляторами роста // Лесотехнический журнал, 2017. Т. 7. № 2 (26). С. 75–83.
- [10] Кабанова С.А., Данченко М.А., Мироненко О.Н., Кабанов А.Н. Результаты предпосевной обработки стимуляторами семян сосны обыкновенной в Северном Казахстане // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова, 2016. № 3 (44). С. 99–106.
- [11] Лихолат Т.В. Регуляторы роста древесных растений. М.: Лесная пром-сть, 1983. 240 с.
- [12] Носников В.В., Волкович А.П., Юренин А.В., Ярмолович В.А. Эффективность предпосевной обработки семян сосны и ели препаратом Эмистим-С // Труды БГТУ, 2014. № 1 (165). С. 150–153.
- [13] Castro J., Hódar J.A., Gómez J.M. Seed Size. Ch. 14 // Handbook of Seed Science and Technology. Ed. by A.S. Basra. New York: Haworth Press, 2006, pp. 397–428.
- [14] Fober H. Relation between Climatic Factors and Scots Pine (*Pinus sylvestris*) Cone Crops in Poland // Arboretum Kórnickie, 1976, v. 21, pp. 367–374.
- [15] Sarvas R. Investigations of the Flowering and Seed Crop of *Pinus sylvestris*. Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja, 1962, v. 53, no. 4, p. 198.
- [16] Yakovlev I., Fossdal C.G., Skrøppa T., Olsen J.E., Jahren A.H., Johnsen Ø. An Adaptive Epigenetic Memory in Conifers with Important Implications for Seed Production //

- Seed Science Research, 2012, v. 22, iss. 2, pp. 63–76.
DOI: 10.1017/S0960258511000535
- [17] Соколов Д.В., Щедрова В.И. Экстракт чаги (*Inonotusobliquus* (Pers.) (Pil.) как профилактическое средство против фузариоза семян сосны // Лесоводство, лесные культуры, охрана и защита леса. Раздел IV. Защитное лесоразведение и лесные культуры. Вып. 1. Воронеж, 1973. С. 110–112.
- [18] Пентелькин С.К. Итоги изучения стимуляторов и полимеров в лесном хозяйстве за последние 20 лет // Лесохозяйственная информация, 2003. № 11. 20 с.
- [19] ГОСТ 14161–86. Семена хвойных древесных пород. Посевные качества. Технические условия.
URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200025549> (дата обращения 11.06.2021).
- [20] Пентелькина Ю.С. Влияние стимуляторов на всхожесть семян и рост сеянцев хвойных видов: дис. канд. с.-х. наук. М.: МГУЛ, 2003. 140 с.
- [21] Список пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации // Приложение к журналу «Защита и карантин растений», 2004. 575 с.
- [22] Чилимов А.И., Пентелькин С.А. Проблемы использования стимуляторов роста в лесном хозяйстве // Лесное хозяйство, 1995. № 6. С. 11–12.
- [23] Крамер П.Д., Козловский Т.Т. Физиология древесных растений. М.: Лесная пром-сть, 1983. С. 269–272.
- [24] Мелехов В.И., Бабич Н.А., Лебедева О.П., Тюрикова Т.В., Васильева Н.Н. Средство для предпосевной обработки семян хвойных пород. Пат. 2680700 Российская Федерация, МПК 51А 01 С 1/06. / заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова». № 2018117368; заявл. 10.05.2018; опубл. 25.02.2019, бюл. № 6, 4 с.
- [25] Расев А.И. Сушка древесины. М.: МГУЛ, 2004. С. 167–170.
- [26] ГОСТ 13056.6–97. Семена деревьев и кустарников. Метод определения всхожести. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200025567> (дата обращения 11.06.2021).
- [27] Редько Г.И., Мерзленко М.Д., Бабич Н.А., Данилов Ю.Н. Лесные культуры и защитное лесоразведение: учебник для студ. вузов / под ред. Г.И. Редько. М.: Академия, 2008. 400 с.
- [28] Словарь-справочник таежного лесокulturника / под ред. Н.А. Бабича. Архангельск: Изд-во СевНИИЛХ, 2005. 252 с.

Сведения об авторах

Сунгурова Наталья Рудольфовна  — д-р с.-х. наук, доцент кафедры ландшафтной архитектуры и искусственных лесов Высшей школы естественных наук и технологий, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (САФУ), n.sungurova@narfu.ru

Дрочкова Анна Алексеевна — аспирант кафедры ландшафтной архитектуры и искусственных лесов Высшей школы естественных наук и технологий, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (САФУ), annadrochkova@gmail.com

Гаевский Николай Петрович — канд. с.-х. наук, доцент кафедры ландшафтной архитектуры и искусственных лесов Высшей школы естественных наук и технологий, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (САФУ), n.gaevsky@narfu.ru

Волыхина Нелли Владимировна — аспирант кафедры ландшафтной архитектуры и искусственных лесов Высшей школы естественных наук и технологий, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (САФУ), n.volihina@narfu.ru

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

Поступила в редакцию 24.11.2021.

Одобрено после рецензирования 18.02.2022.

Принята к публикации 04.04.2022.

WOOD DRYING CONDENSATE AS *PINUS SYLVESTRIS* L. SEEDS GERMINATION ACTIVATOR

N.R. Sungurova✉, A.A. Drochkova, N.P. Gayevsky,
N.V. Volykhina, N.A. Babich

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

n.sungurova@narfu.ru

One of the urgent problems of reforestation is the shortage and lack of high-quality seeds. Although *Pinus sylvestris* L. is one of the most common species in Europe and Asia, the widespread felling of scots pine, due to the great demand for its valuable raw materials, created the need for the renewal of this breed. Artificial restoration of scots pine often occurs with the help of seeds of medium or low quality, due to the absence or shortage of high-quality raw materials. The solution to this problem can be the use of preparations that improve the quality characteristics of seeds. Therefore, the main task of our study was the impact on seeds, in order to improve their basic qualitative characteristics, of the proposed growth regulator — condensate formed during the drying of wood in the drying chamber of a woodworking enterprise. The reasons for choosing condensate were the content of a large amount of useful substances, cost-effectiveness, environmental safety of use for both humans and the environment, and ease of use. The results of the experiment showed that the germination of seeds was 97 %, and the germinative energy was 87 %. In addition, during the processing of the results of the experiment, it turned out that the substance under the study affects the ability of the seeds treated with it to resist rotting. The protective properties of the condensate are indicated by an insignificant amount of rotted seeds, which ranges from 0 to 1 %. Another weighty argument in favor of the use of condensate seeds for growth stimulation is the waste-free production which is undoubtedly an urgent direction today.

Keywords: seeds, *Pinus sylvestris* (L.), germination, germination energy, condensate

Suggested citation: Sungurova N.R., Drochkova A.A., Gayevsky N.P., Volykhina N.V., Babich N.A. *Kondensat sushki drevesiny kak aktivator energii prorastaniya i vskhozhesti semyan sosny obyknovnoy Pinus sylvestris L.* [Wood drying condensate as *Pinus Sylvestris* L. seeds germination activator]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 4, pp. 39–45. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-4-39-45

References

- [1] Babich N.A., Drochkova A.A., Komarova A.M., Lebedeva O.P., Andronova M.M. *Variativnost massovykh kharakteristik semyan Pinus sylvestris L. v taezhnoy zone* [Variability of mass characteristics of *Pinus sylvestris* L. seeds in the taiga zone]. *Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal)*, 2019, no. 2, pp. 141–147. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.141
- [2] Orians G.S. Diversity stability and naturity in natural ecosystem. *Unifying Concepts in Ecology* The Haque, Wageningen, 1975, pp. 20–26.
- [3] Usoltsev V.A., Vanclay J.K. Stand biomass dynamics of pine plantations and natural forests on dry steppe in Kazakhstan. *Scandinavian J. of forest Research*, 1995, v. 10, pp. 305–312.
- [4] Walther G.-R. Plants in a warmer world. *Perspectives in Plant Ecology. Evolution and Systematics*, 2003, v. 6/3, pp. 169–185.
- [5] Vakulenko V.V. *Regulyatory rosta* [Growth regulators]. *Zashchita i karantin rasteniy* [Protection and quarantine of plants], 2004, no. 1, pp. 24–46.
- [6] Prokazin N.E., Lobanova E.N., Pentel'kina N.V., Kazakov V.I., Ivanyusheva G.I., Sakhnov V.V., Chukarina A.V., Bagaev S.S. *Vliyanie biostimulyatorov i mikroudobreniy na rost seyantsev khvoynykh porod* [The influence of biostimulants and micronutrients on the growth of coniferous seedlings]. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya* [Forestry information], 2013, no. 2, pp 9–15.
- [7] Ostroschenko V.V., Ostroschenko L.Yu. *Vliyanie stimulyatorov na vskhozhest' semyan i rost seyantsev sosny Banksa (Pinus banksiana Lamb.)* [The effect of stimulants on seed germination and seedling growth of Banks pine] *Vestnik KrasGAU* [Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University], 2011, no. 11 (62), pp. 85–92.
- [8] Aliev E.V., Sivolapov A.I. *Vliyanie predposevnoy obrabotki semyan na vskhozhest' i rost seyantsev sosny obyknovnoy rostovymi veshchestvami* [Influence of pre-sowing seed treatment on germination and growth of seedlings of common pine with growth substances]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education], 2013, no. 4, p. 369.
- [9] Kabanova S.A., Danchenko M.A., Bortsov V.A., Kochegarov I.S. *Rezultaty predposevnoy obrabotki semyan sosny obyknovnoy stimulyatorami rosta* [Results of pre-sowing treatment of common pine seeds with growth stimulants]. *Lesotekhnicheskyy zhurnal* [Forestry Journal], 2017, no. 2 (26), pp. 75–83.
- [10] Kabanova S.A., Danchenko M.A., Mironenko O.N., Kabanov A.N. *Rezultaty predposevnoy obrabotki stimulyatorami semyan sosny obyknovnoy v Severnom Kazakhstane* [Results of pre-sowing treatment with stimulants of common pine seeds in Northern Kazakhstan]. *Vestnik Buryatskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii im. V.R. Filippova* [Bulletin of the Buryat State Agricultural Academy named after V.R. Filippov], 2016, no. 3 (44), p. 99–106.
- [11] Likholat T.V. *Regulyatory rosta drevesnykh rasteniy* [Growth regulators of woody plants]. *Lesnaya promyshlennost'* [Forest industry], 1983, 240 p.
- [12] Nosnikov V.V., Volkovich A.P., Yurenya A.V., Yarmolovich V.A. *Effektivnost' predposevnoy obrabotki semyan sosny i eli preparatom Emistim-S* [Efficiency of pre-sowing treatment of pine and spruce seeds with Emistim-S preparation]. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2014, no. 1 (165), pp. 150–153.

- [13] Castro J., Hódar J.A., Gómez J.M. Seed Size. Ch. 14 // Handbook of Seed Science and Technology. Ed. by A.S. Basra. New York: Haworth Press, 2006, pp. 397–428.
- [14] Fober H. Relation between Climatic Factors and Scots Pine (*Pinus silvestris*) Cone Crops in Poland // Arboretum Kórnickie, 1976, v. 21, pp. 367–374.
- [15] Sarvas R. Investigations of the Flowering and Seed Crop of *Pinus silvestris*. Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja, 1962, v. 53, no. 4, p. 198.
- [16] Yakovlev I., Fossdal C.G., Skrøppa T., Olsen J.E., Jahren A.H., Johnsen Ø. An Adaptive Epigenetic Memory in Conifers with Important Implications for Seed Production // Seed Science Research, 2012, v. 22, iss. 2, pp. 63–76. DOI: 10.1017/S0960258511000535
- [17] Sokolov D.V., Shchedrova V.I. *Ekstrakt chagi (Inonotus obliquus (Pers.) (Pil.) kak profilakticheskoe sredstvo protiv fuzarioza seyantsev sosny* [Chaga extract (*Inonotus obliquus* (Pers.) (Pil.) as a prophylactic against fusarium of pine seedlings]. Lesovodstvo, lesnye kul'tury, okhrana i zashchita lesa. Razdel IV. Zashchitnoe lesorazvedenie i lesnye kul'tury [Forestry, forest crops, forest protection and protection. Section IV. Protective afforestation and forest crops], v. 1. Voronezh, 1973, pp. 110–112.
- [18] Pentel'kin S.K. Itogi izucheniya stimulyatorov i polimerov v lesnom khozyaystve za poslednie 20 let [Results of the study of stimulants and polymers in forestry over the past 20 years]. Leskhozyaystvennaya informatsiya [Forestry information], 2003, no. 11, 20 p.
- [19] ГОСТ 14161–86. Semena khvoynykh drevesnykh porod. Posevnye kachestva. Tekhnicheskie usloviya [Seeds of coniferous tree species. Sowing qualities. Technical conditions]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200025549> (accessed 11.06.2021).
- [20] Pentel'kina Yu.S. *Vliyaniye stimulyatorov na vskhozhest'semyan i rost seyantsev khvoynykh vidov* [The effect of stimulants on seed germination and growth of seedlings of coniferous species]. Dis. ... Cand. Sci. (Agric.). Moscow, 2003. 140 p.
- [21] *Spisok pestitsidov i agrokhimikatov, razreshennykh k primeneniyu na territorii Rossiyskoy Federatsii* [List of pesticides and agrochemicals approved for use on the territory of the Russian Federation]. Prilozhenie k zhurnalnu «Zashchita i karantin rasteniy» [Supplement to the journal «Protection and Quarantine of Plants»], 2004, 575 p.
- [22] Chilimov A.I., Pentel'kin S.A. *Problemy ispol'zovaniya stimulyatorov rosta v lesnom khozyaystve* [Problems of using growth stimulators in forestry]. Lesnoe khozyaystvo [Forestry], 1995, no. 6, pp. 11–12.
- [23] Kramer P.D., Kozlovskiy T.T. *Fiziologiya drevesnykh rasteniy* [Physiology of woody plants]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forest industry], 1983, pp. 269–272.
- [24] Melekhov V.I., Babich N.A., Lebedeva O.P., Tyurikova T.V. Vasil'eva N.N. *Sredstvo dlya predposevnoy obrabotki semyan khvoynykh porod* [Means for pre-sowing treatment of coniferous seeds]. Pat. 2680700 RF, MPK 51 A 01 S 1/06. Zayavitel' i patentoobladatel' FGAOU VO «Severnnyy (Arkticheskiy) federal'nyy universitet imeni M.V. Lomonosova». № 2018117368; zayavl. 10.05.2018; opubl. 25.02.2019, bul. 6, 4 p.
- [25] Rasev A.I. *Sushka drevesiny* [Drying of wood]. Moscow: MSFU, 2004, pp. 167–170.
- [26] ГОСТ 13056.6–97. *Semena derev'ev i kustarnikov. Metod opredeleniya vskhozhesti* [Seeds of trees and shrubs. Method of germination determination]. Moscow: Standartinform, 1997. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200025567> (accessed 11.06.2021).
- [27] Red'ko G.I., Merzlenko M.D., Babich N.A., Danilov Yu.N. *Lesnye kul'tury i zashchitnoe lesorazvedenie* [Forest crops and protective afforestation: a textbook for students. universities]. Ed. G.I. Redko. Moscow: Publishing Center «Academy», 2008, 400 p.
- [28] *Slovar'-spravochnik taezhnogo lesokul'turnika* [Dictionary-reference book of the taiga forest cultivator]. Ed. N.A. Babich. Arkhangelsk: SevNIILKh, 2005, 252 p.

Authors' information

Sungurova Natal'ya Rudol'fovna [✉] — Dr. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, n.sungurova@narfu.ru

Drochkova Anna Alekseevna — Pg. student of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, annadrochkova@gmail.com

Gaevskiy Nikolay Petrovich — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, n.gaevsky@narfu.ru

Volykhina Nelli Vladimirovna — Pg. student of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, n.volihina@narfu.ru

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

Received 24.11.2021.

Approved after review 18.02.2022.

Accepted for publication 04.04.2022.

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

СНИЖЕНИЕ АЛЛЕЛОТОКСИЧНОСТИ ПОЧВ И ПОЧВЕННЫХ СУБСТРАТОВ

И.В. Горепекин¹✉, Г.Н. Федотов¹, Д.И. Потапов¹,
Ю.П. Батырев², В.С. Шалаев²

¹ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», 119991, г. Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, стр. 12, Факультет почвоведения МГУ

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

decembrist96@yandex.ru

Представлены результаты разработки сорбционно-стимулирующего препарата и изучения его влияния на снижение аллелотоксичности почв и тепличных субстратов. Показано, что основу препарата составляют бентонит кальция и гумат калия с добавками автолизата пивных дрожжей и полиэтиленгликоля. Установлено, что препарат за счет сорбции снижает доступность почвенных аллелотоксинов для растений. Определены оптимальные концентрации компонентов состава разработанного препарата. Обоснована рентабельность применения препарата при его внесении в почвенные субстраты тепличных хозяйств.

Ключевые слова: аллелотоксичность почв, сорбционно-стимулирующий препарат, внесение сорбционных составов в почвы, рентабельность снижения аллелотоксичности почв, тепличные хозяйства

Ссылка для цитирования: Горепекин И.В., Федотов Г.Н., Потапов Д.И., Батырев Ю.П., Шалаев В.С. Снижение аллелотоксичности почв и почвенных субстратов // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 4. С. 46–52. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-4-46-52

Хорошо известно явление накопления в почвах аллелотоксинов, которые оказывают сильное негативное влияние на почвенное плодородие и урожайность сельскохозяйственных растений [1–11].

Аллелотоксичность почв пытались снизить различными способами, в частности, промывали почвы водой и органическими растворителями, промораживали, прогревали, автоклавировали и известковали. Однако были получены противоречивые результаты, поскольку используемые приемы не всегда оказывались эффективными [1, 4, 12].

Авторами работы [13] была предпринята успешная попытка оказать стимулирующее воздействие на произрастающие в почвах растения за счет снижения негативного влияния на них почвенных аллелотоксинов на начальном этапе развития растений. Для этого использовали предпосевную обработку семян сорбционно-стимулирующими препаратами (ССП). Было установлено [14], что механизм стимулирующего влияния СПП при обработке ими семян состоит в блокировании поступления аллелотоксинов из почвенных частиц, прилегающих к семенам, из которых аллелотоксины освобождаются путем обменной сорбции:

1) семена выделяют органические вещества (сахара, кислоты и т. д.);

2) молекулы этих веществ вытесняют из почвенных частиц аллелотоксины;

3) молекулы аллелотоксинов поступают в семена и оказывают на их развитие ингибирующее влияние.

Однако обработка семян СПП не приводила к снижению общей почвенной аллелотоксичности, а лишь уменьшала негативное влияние аллелотоксинов на прорастание семян и развитие из них растений на начальном этапе. После вхождения корней в слои почвы, содержащей аллелотоксины, эффект от использования СПП для обработки семян должен был резко снижаться. Фактически предпосевная обработка семян может ускорять их развитие только на начальном этапе.

В тепличных хозяйствах почвенные субстраты используются со значительно более высокой интенсивностью, выражающейся в количестве урожая, приходящемся на единицу субстрата. Как следствие, накопление в них аллелотоксинов происходит более активно. Это должно снижать качество почвенных субстратов и угнетать рост и развитие растений на них [15]. Поэтому применение препаратов, уменьшающих аллелотоксичность почв [15–17], может быть востребовано при выращивании овощей и цветов в тепличных хозяйствах как новый прием повышения урожайности.

Цель работы

Цель работы — разработка состава, способного при его внесении в почвы и почвенные субстраты снижать их аллелотоксичность и оказывать стимулирующее влияние на развитие растений в течение всего периода вегетации.

Материалы и методы

При выполнении работ в качестве тест-объекта использовали семена яровой пшеницы (*Triticum*) сорта «Лиза».

Проращивали семена в образцах агродерново-глубокоподзолистой легкосуглинистой почвы из окрестностей поймы р. Яхромы, которую готовили общепринятым в почвоведении способом — после отбора образца его доводили до воздушно-сухого состояния. Для получения из него увлажненного образца добавляли воду при тщательном перемешивании и выдерживали в таком состоянии не менее двух недель. Также в работе использовали субстрат из теплиц ВНИИО.

В целях снижения негативного влияния почвенных аллелотоксинов было принято решение уменьшить их активность, закрепляя на сорбционном препарате, который готовили из компонентов, использовавшихся ранее при получении сорбционно-стимулирующего препарата (ССП) [13] для предпосевной обработки семян. Использовали гумат калия (Г), произведенный из бурого угля, и бентонит кальция (БК), к которым добавляли автолизат пивных дрожжей (АПД) и полиэтиленгликоль (ПЭГ) с молекулярной массой 400 у. е.

Для получения опытного состава из компонентов препарата готовили суспензию, которую выдерживали в течение одних суток. Воду удаляли испарением при температуре 70 °С. Полученный твердый образец измельчали на мельнице ударного типа. Порошок вносили в почву влажностью около 18 % при тщательном перемешивании и выдерживали не менее 3 сут. После этого в полученный образец высевали тест-культуру.

Изучали изменение интегральной длины проростков 7,5 г семян (~200 шт.), которую определяли, используя экспресс-метод биотестирования, основанный на существовании линейной зависимости между насыпным объемом семян с проростками в воде и длиной их проростков [18].

Биотестирование на данный момент считается основным методом, пригодным для изучения аллелотоксичности почв [1], поскольку даже зная концентрации сотен аллелотоксинов, которые могут содержаться в почвах, невозможно предсказать эффект от их совместного действия вследствие взаимного влияния аллелотоксинов одного на другой [19–21] и различной степени их закрепления в почвах [6, 12, 22, 23].

Для определения воздействия почвенных образцов на развитие семян (аллелотоксичности почв) проводили сравнительные испытания по развитию проростков семян в песке и почвенных образцах. При проведении этих экспериментов принимали за 100 % развитие семян в песке и рас-

считывали относительно полученного значения замедление или ускорение развития проростков семян почвенным образцом.

Для определения эффективности действия сорбционных составов проводили сравнительное изучение развития семян в необработанных и обработанных этими составами почвенных образцах.

Применяли шестикратную повторность с последующей статистической обработкой результатов. Для минимизации влияния разнокачественности семян [24] в одном опыте использовали 1000...1200 семян, что позволяло уменьшить величину доверительных интервалов до 15%.

Для оценки целесообразности использования препарата в условиях тепличных субстратов рассчитаны пороговые значения повышения дохода предприятия, которые должен обеспечивать препарат для выхода на самоокупаемость. При расчетах использовали показатели средней цены продукции за один килограмм и ее урожайности, а также доход, формируемый с учетом указанных параметров.

Результаты и обсуждение

На первом этапе работы были определены значения аллелотоксичности дерново-подзолистой почвы и тепличного субстрата, использованные в опыте. Дерново-подзолистая почва замедляла прорастание семян и развитие из них растений на 27 % относительно песка, а тепличный субстрат — на 23 %. Значение –27 % для дерново-подзолистой почвы брали за точку отсчета (100 %) и рассчитывали относительно нее ускорение развития проростков яровой пшеницы.

Для проверки возможности снижения аллелотоксичности субстратов в почвенные образцы вносили компоненты СПП [13]: БК-Г-АПД-ПЭГ; БК-Г; БК-Г-АПД и БК-Г-ПЭГ, предполагая, что препарат, оказавшийся эффективным при обработке им семян, сможет снижать аллелотоксичность почв.

Полученные результаты по влиянию внесения добавок на изменение аллелотоксичности почвенных образцов представлены на рис. 1.

Из полученных данных следовало:

– добавка к почве сорбционного препарата, бентонито-гуматового комплекса — бентонита кальция (БК) с гуматом (Г) снижает аллелотоксичность почв (см. рис. 1, кривая 3);

– введение в сорбционный препарат БК-Г полиэтиленгликоля (ПЭГ) не оказывает значимого влияния на действие препарата БК-Г (см. рис. 1, кривая 4);

– введение в сорбционный препарат БК-Г автолизата пивных дрожжей (АПД) заметно усиливает действие препарата БК-Г (см. рис. 1, кривая 2);

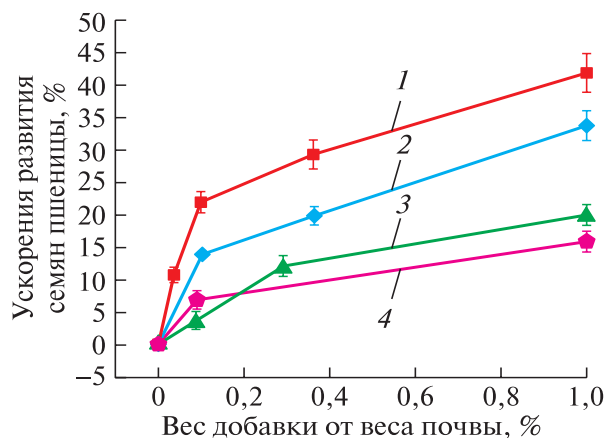


Рис. 1. Влияние внесения в дерново-подзолистую почву различных количеств сорбционно-стимулирующих препаратов на изменение ее аллелотоксичности, определенное на семенах яровой пшеницы сорта «Лиза»: 1 — СВ(кальций бентонит)-Н(гумат)-ВУА(brewer's yeast autolysate)-ПЭГ(polyethylene glycol); 2 — СВ-Н-ВУА; 3 — СВ-Н; 4 — СВ-Н-ПЭГ

Fig. 1. Influence of various amounts of sorption-stimulating preparations into soddy-podzolic soil on the change in its allelotoxicity, determined on the seeds of spring wheat variety «Liza»: 1 — СВ(calcium bentonite)-Н(humate)-ВУА(brewer's yeast autolysate)-ПЭГ(polyethylene glycol); 2 — СВ-Н-ВУА; 3 — СВ-Н; 4 — СВ-Н-ПЭГ

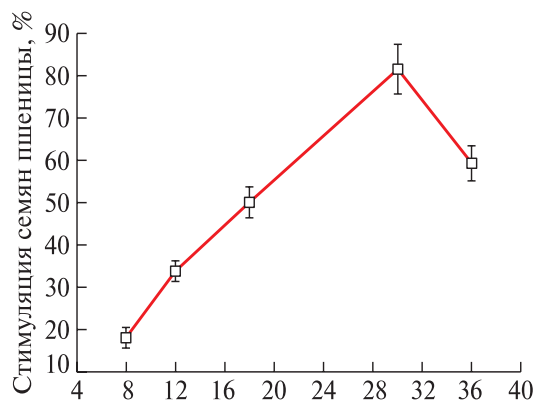


Рис. 2. Влияние содержания АПД в сорбционном препарате СВ-Н на снижение аллелотоксичности в дерново-подзолистой почве при внесении 1 % препарата от массы почвы

Fig. 2. Influence of the ВУА content in the sorption preparation СВ-Н on the reduction of allelotoxicity in soddy-podzolic soil with the addition of 1% of the preparation by weight of the soil

– добавление ПЭГ к сорбционному препарату СВ-Н-АПД усиливает его действие (см. рис. 1, кривая 1);

– внесение в почву одного АПД в количестве, содержащемся в препарате СВ-Н-АПД при его добавлении к почве в количестве 1 %, ингибирует развитие семян примерно на 20 %.

Использование соотношения компонентов, соответствующее ССП [13], не могло гарантировать оптимальность состава препарата, вносимого в

почву для снижения ее аллелотоксичности, поэтому было изучено влияние соотношения компонентов на эффективность применения состава.

Установлено, что соотношение СВ : Г = 4 : 1 является оптимальным, а оптимальное содержание АПД в составе возросло до 30 г/л (рис. 2).

Поскольку стимуляция при внесении в почву 1 % состава повысилась до 80 %, снизилась возможность его дальнейшего улучшения вследствие слишком высоких получаемых результатов. Поэтому было проведено изучение влияния количества внесения разработанного состава на снижение аллелотоксичности почвенных образцов (рис. 3). Из полученных данных видно, что при меньших дозах внесения состава в почву эффект плавно снижается. Это позволило провести доработку состава по оптимальному содержанию в нем ПЭГ при внесении в почву 0,25 % препарата (рис. 4).

Полученные данные свидетельствуют о том, что оптимальным для внесения в почву является состав, получаемый из суспензии, содержащей СВ — 40 г/л, Г — 10 г/л, АПД — 30 г/л и ПЭГ — 450 мг/л.

Из полученных результатов можно сделать вывод: действие применяемых сорбционных препаратов основано не только на сорбции и снижении активности аллелотоксинов в почве, но и на отсутствии положительного влияния добавления ПЭГ к препарату СВ-Г, который уменьшает размеры частиц СВ-Г и, следовательно, должен увеличивать его поверхность и сорбционную емкость, и на усилении снижения аллелотоксичности почвы за счет введения в сорбционный препарат (СВ-Г) автолизата пивных дрожжей. Этот эффект является довольно неожиданным, поскольку АПД, единственный внесенный в почву, ингибирует развитие семян. Кроме того, он должен, исходя из своего состава [25], закрепляться на сорбенте, уменьшать сорбционную емкость препарата СВ-Г и, как следствие, снижать эффективность его действия. К тому же введение ПЭГ в препарат СВ-Г-АПД, который не оказал влияния на эффективность препарата СВ-Г, усиливает действие препарата СВ-Г-АПД.

При разработке препарата для снижения аллелотоксичности почв возникают некоторые вопросы: какие затраты допустимы и в каких областях сельского хозяйства применение такого препарата может быть рентабельным?

В результате проведенного анализа (таблица) установлено, что снижение аллелотоксичности за счет использования сорбционного препарата может быть востребовано для улучшения качества почвенных субстратов в тепличных хозяйствах, поскольку повышение урожайности в теплицах на несколько процентов окупит затраты на применение составов, снижающих аллелотоксичность грунтов.

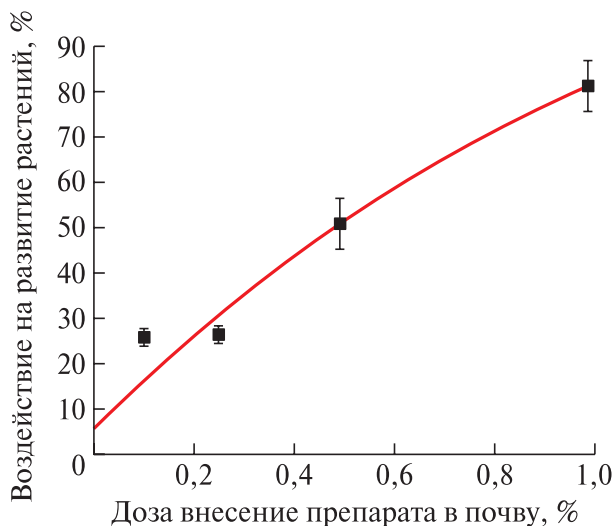


Рис. 3. Влияние расхода препарата БК-Г-АПД при его внесении в дерново-подзолистую почву на снижение ее аллелотоксичности

Fig. 3. Influence of the consumption of the preparation CB-H-BYA when it is introduced into soddy-podzolic soil on the reduction of its allelopathy

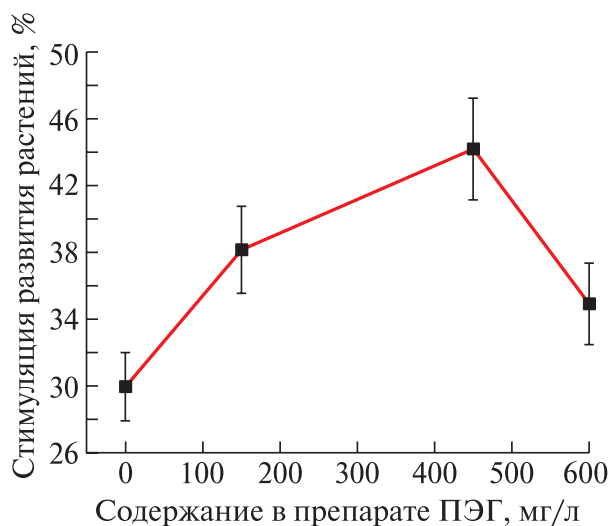


Рис. 4. Влияние содержания ПЭГ в препарате БК-Г-АПД на снижение аллелотоксичности в дерново-подзолистой почве при внесении 0,25 % препарата от массы почвы

Fig. 4. Influence of the PEG content in the CB-H-BYA preparation on the reduction of allelopathy in soddy-podzolic soil with the addition of 0,25% of the preparation by weight of the soil

Ориентировочная оценка окупаемости использования препарата для некоторых направлений растениеводства

Approximate estimate of the payback on the use of the preparation for some areas of crop production

Культура	Цена за 1 кг, руб.	Урожайность с 1 м ² , кг	Доходы с 1 м ² , руб.	Увеличение дохода для окупаемости препарата, %
Пшеница (на продовольствие)	15	0,6	9	333
Пшеница (посевной материал)	18	0,6	10,8	278
Яблоня (сад)	40	5	200	15
Клубника (теплица)	440	3	1320	2,3
Помидоры	50	30	1500	2
Огурцы (теплица)	50	60	3000	1

Примечание. Ориентировочная стоимость препарата — 300 руб./кг. Норма внесения: 1 кг на 10 м² почвы. При проведении расчетов были использованы данные по ценам и урожайности с сайтов сельскохозяйственных предприятий.

Изучение тепличного субстрата подтвердило существование проблемы аллелотоксичности в тепличных хозяйствах, а применение разработанного препарата для снижения аллелотоксичности тепличного субстрата показало, что при внесении состава в количестве 1 % аллелотоксичность тепличного субстрата не просто снижается с -23 %, а он начинает стимулировать растения (+5 %).

Выводы

Проведенные исследования позволили разработать препарат для снижения аллелотоксичности почв и почвенных субстратов в тепличных хозяйствах. Применение этого препарата может оказаться рентабельным в закрытом грунте.

Список литературы

- [1] Гродзинский А.М., Богдан Г.П., Головкин Э.А. Аллелопатическое почвоутомление. Киев: Наукова думка, 1979. 248 с.
- [2] Коношина С.Н. Влияние различных способов использования почвы на ее аллелопатическую активность: дис. ... канд. с.-х. наук. Орел: Орловский ГАУ, 2000. 145 с.
- [3] Коношина С.Н. Влияние физиолого-активных веществ высших растений на формирование аллелопатической активности почвы // Современные проблемы науки и образования, 2015, № 3. С. 617.
- [4] Красильников Н.А. Микроорганизмы почвы и высшие растения. М.: Изд-во АН СССР, 1958. 464 с.
- [5] Лобков В.Т. Использование почвенно-биологического фактора в земледелии. Орел: Изд-во Орловского ГАУ, 2017. 166 с.
- [6] Allelopathy. A Physiological Process with Ecological Implications. Ed. by M.J. Reigosa, N. Pedrol, L. Gonzalez. Published by Springer. Printed in the Netherlands, 2006, 637 p.
- [7] Cheng F., Cheng Z. Research Progress on the use of Plant Allelopathy in Agriculture and the Physiological and Ecological Mechanisms of Allelopathy // Frontiers in Plant Science, 2015, v. 6, p. 1020.
- [8] Jilani G., Mahmood S., Chaudhry A.N. Allelochemicals: sources, toxicity and microbial transformation in soil – a review // Annals of Microbiology, 2008, v. 58, no. 3, pp. 351–357.
- [9] McCalla T.M., Haskins F.A. Phytotoxic Substances from Soil Microorganisms and Crop Residues // Bacteriological Reviews, 1964, v. 28, pp. 181–207.

- [10] Norouzi Y., Mohammadi G.R., Nosratti I. Soil factors affecting the allelopathic activities of some plant species // *J. Appl. Environ. Biol. Sci.*, 2015, v. 5, no. 8, pp. 285–290.
- [11] Rice E.L. *Allelopathy*. New York: Academic Press, 1984, 422 p.
- [12] Потапов Д.И., Шваров А.П., Горепекин И.В., Салимгареева О.А., Федотов Г.Н. Влияние пробоподготовки почвенных образцов на их теплогидрофизические свойства и аллелотоксичность // *Почвоведение*, 2022. № 3. С. 315–325.
- [13] Федотов Г.Н., Горепекин И.В., Лысак Л.В. Аллелотоксичность почв и разработка сорбционно-стимулирующего препарата для ускорения начальной стадии развития растений из семян яровой пшеницы // *Почвоведение*, 2020. № 9. С. 1121–1131.
- [14] Шоба С.А., Федотов Г.Н., Горепекин И.В. О действии сорбционно-стимулирующих препаратов на прорастание семян // *Доклады Академии наук. Науки о жизни*, 2021. Т. 499. С. 76–79.
- [15] Бирюков А.О. Стимулирующая способность тепличного грунта в условиях применения регуляторов роста растений: автореф. дис. ... канд. биол. наук. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2009. 20 с.
- [16] Михеева Г.А., Сомова Л.А. Влияние биологических препаратов на рост и развитие растений лука и биологическую активность почвы // *Агрохимия*, 2009. № 2. С. 60–65.
- [17] Наумова Г.В., Макарова Н.Л., Жмакова Н.А., Овчинникова Т.Ф. Влияние гуминовых препаратов на ферментативную активность почвы при выращивании от-
дельных культур // *Экологический вестник Северного Кавказа*, 2019. Т. 15. № 2. С. 19–23.
- [18] Федотов Г.Н., Шалаев В.С., Батырев Ю.П., Горепекин И.В. Методика для оценки эффективности действия стимуляторов прорастания семян // *Лесной вестник / Forestry Bulletin*, 2018. Т. 22. № 6. С. 95–101. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-6-95-101
- [19] Einhellig F.A. Interactions involving allelopathy in cropping systems // *Agronomy Journal*, 1996, v. 88, no. 6, pp. 886–893.
- [20] Latif S., Chiapusio G., Weston L.A. Allelopathy and the role of allelochemicals in plant defence // *Advances in botanical research*, 2017, v. 82, pp. 19–54.
- [21] Tharayil N., Bhowmik P. C., Xing B. Bioavailability of allelochemicals as affected by companion compounds in soil matrices // *J. of agricultural and food chemistry*, 2008, v. 56, no. 10, pp. 3706–3713.
- [22] Blum U., Wentworth T.R., Klein K., Worsham A.D., King L.D., Gerig T.M., Lyu S.W. Phenolic acid content of soils from wheat-no till, wheat-conventional till, and fallow-conventional till soybean cropping systems // *J. of Chemical Ecology*, 1991, v. 17, no. 6, pp. 1045–1068.
- [23] Vinken R., Schäffer A., Ji R. Abiotic association of soil-borne monomeric phenols with humic acids // *Organic geochemistry*, 2005, v. 36, no. 4, pp. 583–593.
- [24] Сечняк Л.К., Киндрук Н.А., Слюсаренко О.К. Экология семян пшеницы. М.: Колос, 1983. 349 с.
- [25] Чичина Т.В. Разработка технологии белковых ингредиентов на основе остаточных пивных дрожжей с использованием холодильной обработки: дис. ... канд. техн. наук. Санкт-Петербург, 2014. 126 с.

Сведения об авторах

Горепекин Иван Владимирович✉ — аспирант Факультета почвоведения МГУ, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», decembrist96@yandex.ru

Федотов Геннадий Николаевич — д-р биол. наук, вед. науч. сотр. Факультета почвоведения МГУ, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», gennadiy.fedotov@gmail.com

Потапов Дмитрий Иванович — аспирант Факультета почвоведения МГУ, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», zmiyovka1995@mail.ru

Батырев Юрий Павлович — канд. техн. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), batyrev@mgul.ac.ru

Шалаев Валентин Сергеевич — д-р техн. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), shalaev@mgul.ac.ru

Поступила в редакцию 26.01.2022.

Одобрено после рецензирования 13.05.2022.

Принята к публикации 19.05.2022.

ALLELOTOXICITY OF SOILS AND SOIL SUBSTRATES REDUCTION

I.V. Gorepekin¹✉, G.N. Fedotov¹, D.I. Potapov¹,
Yu.P. Batyrev², V.S. Shalaev²

¹M.V. Lomonosov Moscow State University, Faculty of Soil Science, GSP-1, 1, p. 12, Leninskie Gory, 119991, Moscow, Russia
²BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

decembrist96@yandex.ru

Sorption-stimulating preparation has been developed, and its effect on allelotoxicity reduction of soils and soil-like substrates has been studied. Calcium bentonite and potassium humate with the addition of brewer's yeast autolysate and polyethylene glycol are the base of the preparation. The preparation reduces the soil allelotoxins for plants due to sorption. Optimal concentrations of composition components of the developed preparation were determined. The profitability of the preparation application when introducing it into the soil substrates of greenhouses was justified.

Keywords: allelotoxicity of soils, sorption-stimulating preparation, introduction of sorption compositions into the soil, profitability of reducing allelotoxicity of soils, greenhouse farms

Suggested citation: Gorepekin I.V., Fedotov G.N., Potapov D.I., Batyrev Yu.P., Shalaev V.S. *Snizhenie allelotoksichnosti pochv i pochvennykh substratov* [Allelotoxicity of soils and soil substrates reduction] // *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 4, pp. 46–52. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-4-46-52

References

- [1] Grodzinskiy A.M., Bogdan G.P., Golovko E.A. *Allelopaticeskoe pochvoutomlenie* [Allelopathic soil fatigue]. Kiev: Naukova dumka, 1979, 248 p.
- [2] Konoshina S.N. *Vliyanie razlichnykh sposobov ispol'zovaniya pochvy na ee allelopaticeskuyu aktivnost'* [Influence of different methods of soil use on its allelopathic activity]. Dis. ... Cand. Sci. (Agric.). Orel: Orlovskiy GAU, 2000, 145 p.
- [3] Konoshina S.N. *Vliyanie fiziologo-aktivnykh veshchestv vysshikh rasteniy na formirovanie allelopaticeskoy aktivnosti pochvy* [The influence of physiologically active substances of higher plants on the formation of allelopathic activity of the soil]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education], 2015, no. 3, p. 617.
- [4] Krasil'nikov N.A. *Mikroorganizmy pochvy i vysshie rasteniya* [Soil microorganisms and higher plants]. Moscow: AN SSSR, 1958, 464 p.
- [5] Lobkov V.T. *Iskol'zovanie pochvenno-biologicheskogo faktora v zemledelii* [Use of the soil-biological factor in agriculture]. Orel: Orlovskiy GAU, 2017, 166 p.
- [6] Allelopathy. A Physiological Process with Ecological Implications. Edited by M.J. Reigosa, N. Pedrol and L. Gonzalez. Published by Springer. Printed in the Netherlands, 2006, 637 p.
- [7] Cheng F., Cheng Z. Research Progress on the use of Plant Allelopathy in Agriculture and the Physiological and Ecological Mechanisms of Allelopathy. *Frontiers in Plant Science*, 2015, v. 6, p. 1020.
- [8] Jilani G., Mahmood S., Chaudhry A.N. Allelochemicals: sources, toxicity and microbial transformation in soil – a review. *Annals of Microbiology*, 2008, v. 58, no. 3, pp. 351–357.
- [9] McCalla T.M., Haskins F.A. Phytotoxic Substances from Soil Microorganisms and Crop Residues. *Bacteriological Reviews*, 1964, v. 28, pp. 181–207.
- [10] Norouzi Y., Mohammadi G.R., Nosratti I. Soil factors affecting the allelopathic activities of some plant species. *J. Appl. Environ. Biol. Sci.*, 2015, v. 5, no. 8, pp. 285–290.
- [11] Rice E.L. Allelopathy. New York: Academic Press, 1984, 422 p.
- [12] Potapov D.I., Shvarov A.P., Gorepekin I.V. *Vliyanie probopodgotovki pochvennykh obrazcov na ih teplogidrofizicheskie svoystva i allelotoksichnost'* [Influence of sample preparation of soil samples on their thermal hydrophysical properties and allelotoxicity]. *Pochvovedenie* [Eurasian Soil Science], 2022, no. 3, pp. 312–325.
- [13] Fedotov G.N., Gorepekin I.V., Lysak L.V. *Allelotoksichnost' pochv i razrabotka sorbtionno-stimuliruyushchego preparata dlya uskoreniya nachal'noy stadii razvitiya rasteniy iz semyan yarovoy pshenitsy* [Soil allelotoxicity and development of a sorption-stimulating drug to accelerate the initial stage of plant development from spring wheat seeds]. *Pochvovedenie* [Eurasian Soil Science], 2020, no. 9, pp. 1121–1131.
- [14] Shoba S.A., Fedotov G.N., Gorepekin I.V. *O deystvii sorbtionno-stimuliruyushchikh preparatov na prorastanie semyan* [On the effect of sorption-stimulating drugs on seed germination]. *Doklady akademii nauk. Nauki o zhizni* [Doklady Biological Sciences. Doklady Biochemistry and Biophysics], 2021, t. 499, pp. 76–79.
- [15] Biryukov A. O. *Stimuliruyushchaya sposobnost' teplichnogo grunta v usloviyah primeneniya regulyatorov rosta rasteniy* [Stimulating ability of greenhouse soil under conditions of application of plant growth regulators]: avtoreferat Dis. Cand. Sci. (Biol.). Moscow, 2009, 20 p.
- [16] Miheeva G. A., Somova L. A. *Vliyanie biologicheskikh preparatov na rost i razvitie rasteniy luka i biologicheskuyu aktivnost' pochvy* [The effect of biological preparations on the growth and development of onion plants and the biological activity of the soil]. *Agrohimiya / Agrochemistry*, 2009, no. 2, pp. 60–65.
- [17] Naumova G. V., Makarova N.L., Zhmakova N.A. *Vliyanie guminovykh preparatov na fermentativnyuyu aktivnost' pochvy pri vyrashchivaniy otdel'nykh kul'tur* [The effect of humic preparations on the enzymatic activity of the soil during the cultivation of individual crops]. *Ekologicheskii vestnik severnogo Kavkaza / Ecological Bulletin of the North Caucasus*, 2019, v. 15, no. 2, pp. 19–23.
- [18] Fedotov G.N., Shalaev V.S., Batyrev Yu.P. *Metodika dlya otsenki effektivnosti deystviya stimulyatorov prorastaniya semyan* [Methodology for assessing seeds germination stimulants effectiveness]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 6, pp. 95–101. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-6-95-101

- [19] Einhellig F.A. Interactions involving allelopathy in cropping systems. *Agronomy Journal*, 1996, v. 88, no. 6, pp. 886–893.
- [20] Latif S., Chiapusio G., Weston L.A. Allelopathy and the role of allelochemicals in plant defence. *Advances in botanical research*, 2017, v. 82, pp. 19–54.
- [21] Tharayil N., Bhowmik P. C., Xing B. Bioavailability of allelochemicals as affected by companion compounds in soil matrices. *J. of agricultural and food chemistry*, 2008, v. 56, no. 10, pp. 3706–3713.
- [22] Blum U., Wentworth T.R., Klein K., Worsham A.D., King L.D., Gerig T.M., Lyu S.W. Phenolic acid content of soils from wheat-no till, wheat-conventional till, and fallow-conventional till soybean cropping systems. *J. of Chemical Ecology*, 1991, v. 17, no. 6, pp. 1045–1068.
- [23] Vinken R., Schäffer A., Ji R. Abiotic association of soil-borne monomeric phenols with humic acids. *Organic geochemistry*, 2005, v. 36, no. 4, pp. 583–593.
- [24] Sechnyak L.K., Kindruk N.A., Slyusarenko O.K. *Ekologiya semyan pshenitsy* [Ecology of wheat seeds]. Moscow: Kolos, 1983, 349 p.
- [25] Chichina T.V. *Razrabotka tekhnologii belkovykh ingredientov na osnove ostatochnykh pivnykh drozhzhey s ispol'zovaniem khodil'noy obrabotki* [Development of technology of protein ingredients based on residual brewer's yeast using refrigeration]: Dis. ... Cand. Sci. (Tech.). Sankt-Peterburg, 2014, 126 p.

Authors' information

Gorepekin Ivan Vladimirovich [✉] — Ph.D. Student of the Lomonosov Moscow State University, decembrist96@yandex.ru

Fedotov Gennadiy Nikolaevich — Dr. Sci. (Biology), Senior Researcher of the Lomonosov Moscow State University, gennadiy.fedotov@gmail.com

Potapov Dmitriy Ivanovich — Ph.D. Student of the Lomonosov Moscow State University, zmiyovka1995@mail.ru

Batyrev Yuriy Pavlovich — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), batyrev@mgul.ac.ru

Shalaev Valentin Sergeevich — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), shalaev@mgul.ac.ru

Received 26.01.2022.

Approved after review 13.05.2022.

Accepted for publication 19.05.2022.

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

ОБОБЩЕННАЯ МОДЕЛЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДИАМЕТРОВ ДЕРЕВЬЕВ В СОСНОВЫХ ДРЕВОСТОЯХ

А.В. Лебедев

Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева, 127550, Москва, Тимирязевская ул., д. 49

alebedev@rgau-msha.ru

Представлена обобщенная статистическая модель распределения диаметров стволов деревьев для лесных культур сосны, разработанная на основе трехпараметрической функции Вейбулла. Ее параметры восстановлены с использованием данных по 231 ряду распределения на 24 постоянных пробных площадях в Лесной опытной даче Российского государственного аграрного университета — МСХА имени К.А. Тимирязева из первого и второго центральных моментов распределения. Показано, что их оценки могут быть получены из уравнений связи со среднеквадратическим диаметром стволов в древостое. Выявлено, что разработанная модель с высокой точностью аппроксимирует фактические распределения диаметров стволов деревьев в приспевающих, средневозрастных и спелых древостоях, а в молодняках возможны отклонения между фактическими и предсказанными значениями частот. Показано, что основным назначением разработанной модели является прогнозирование распределений диаметров стволов деревьев в будущих возрастах древостоев для оптимизации процессов управления лесными насаждениями.

Ключевые слова: обобщенная модель, распределение диаметров, распределение Вейбулла, сосновый древостой

Ссылка для цитирования: Лебедев А.В. Обобщенная модель распределения диаметров деревьев в сосновых древостоях // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 4. С. 53–62.
DOI: 10.18698/2542-1468-2022-4-53-62

При переходе к интенсивной форме ведения лесного хозяйства первоочередными становятся размеры отдельных деревьев, а не средних значений таксационных показателей древостоев. Определение распределения диаметров стволов в конкретном древостое при проведении таксационных работ относится к трудоемкому процессу, связанному с измерением диаметров на высоте 1,3 м от поверхности земли для большого количества деревьев [1, 2].

В практике инвентаризации лесов для снижения затрат инструментально измеряются только отдельные характеристики древостоев, например, средний квадратический диаметр, сумма площадей сечений, средняя высота и др. Модели распределения диаметров могут использоваться для оценки количества деревьев, встречающихся в разных ступенях (классах) толщины. По заключенной в них информации о размерной структуре деревьев можно дать более точную стоимостную оценку запаса древостоя. Информацию о распределении диаметров стволов деревьев можно применять при планировании лесозаготовительных работ, прогнозировании роста лесов и в целом для повышения их продуктивности [3–5].

Модели распределения диаметров обычно основаны на теоретических функциях распределения, например, нормального [6, 7], обобщенного нормального [8], логнормального [9],

бета-распределения [10], распределения Вейбулла [11–13], SB-Джонсона [14, 15] и др. Известны подходы оценивания распределений, основанные на непараметрических методах [12, 16, 17].

Из перечисленных выше методов только функция Вейбулла получила наибольшее распространение для моделирования унимодальных распределений вследствие своей гибкости в подгонке кривых различной формы, простоте оценки параметров [18].

Цель работы

Цель работы — разработка обобщенной модели распределения диаметров стволов деревьев в сосновых древостоях с использованием трехпараметрической функции Вейбулла.

Материалы и методы

Основой исследования послужили материалы обмеров деревьев в лесных культурах сосны Лесной опытной дачи Российского государственного аграрного университета — МСХА имени К.А. Тимирязева. Лесные культуры были заложены в последней четверти XIX в. под руководством М.К. Турского [19–21].

В исследовании использованы данные по 231 ряду распределения диаметров стволов деревьев на 24 постоянных пробных площадях с начальной густотой посадки от 4 до 32 тыс. шт. на 1 га. На пробных площадях начиная с 1910-х гг., с периодичностью один раз в 5...10 лет проводился

обмер диаметров стволов всех деревьев с помощью мерной вилки. Диапазон возраста древостоев составил от 20 до 140 лет, средние диаметры стволов — от 6 до 40 см.

В качестве базовой модели распределения деревьев по диаметру стволов принята трехпараметрическая функция Вейбулла, которая во многих исследованиях показывала лучший по сравнению с другими моделями результат при выравнивании эмпирических распределений [18]. Главным преимуществом функции Вейбулла считается, что ее параметры хорошо коррелируют с таксационными показателями древостоя и являются биологически интерпретируемыми [22]. Это дает возможность прогнозирования распределения диаметров стволов для будущих возрастов древостоев [23, 24]. В трехпараметрической форме распределение задается параметрами смещения, масштаба и формы. Параметр смещения равен минимальному диаметру в древостое. При распределении деревьев по ступеням толщины его можно принять равным левой границе первой ступени толщины. Плотность вероятности $f(x)$ трехпараметрической функции имеет вид

$$f(x) = \left(\frac{c}{b}\right) \left(\frac{x-a}{b}\right)^{c-1} \exp\left(-\left(\frac{x-a}{b}\right)^c\right);$$

$$x \geq 0, b, c > 0,$$

а функция распределения $F(x)$ записывается как

$$F(x) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{x-a}{b}\right)^c\right);$$

$$x \geq 0, b, c > 0,$$

где x — диаметр на высоте 1,3 м, см;

a — параметр смещения;

b — параметр масштаба;

c — параметр формы.

К распространенным способам оценивания параметров при моделировании распределения деревьев относится метод восстановления параметров, который используют в исследованиях, например, Т.В. Stankova и Т.М. Zlatanov [25], J.J. Gorgoso и соавт. [26], F.N. Ogana и соавт. [27], А. Ciseu и соавт. [12]. Данный метод позволяет получить равенство фактического и рассчитанного по модели среднеквадратического диаметра. Первый (m_1) и второй (m_2) центральные моменты передаются формулами:

$$m_1 = b \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{c}\right) + a, \quad (1)$$

$$m_2 = b^2 \cdot \left(\Gamma\left(1 + \frac{2}{c}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{c}\right)\right), \quad (2)$$

где $\Gamma(\dots)$ — гамма-функция.

Преобразуя уравнение (1) через параметр b и подставляя результат в уравнение (2), получаем:

$$b = \frac{m_1 - a}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{c}\right)}, \quad (3)$$

$$m_2 = \frac{(m_1 - a)^2}{\Gamma^2\left(1 + \frac{1}{c}\right)} \cdot \left(\Gamma\left(1 + \frac{2}{c}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{c}\right)\right). \quad (4)$$

Когда известны первый и второй моменты, выражение (4) зависит только от параметра c , который можно найти итеративно из уравнения

$$\frac{(m_1 - a)^2}{\Gamma^2\left(1 + \frac{1}{c}\right)} \cdot \left(\Gamma\left(1 + \frac{2}{c}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{c}\right)\right) - m_2 = 0.$$

Параметр b при известном параметре c можно рассчитать по уравнению (3).

В методе восстановления параметров моменты m_1 и m_2 можно оценить по характеристикам древостоя [12, 18, 25]. Первый момент (m_1) является средним арифметическим значением, которое линейно зависит от среднеквадратического диаметра (QMD):

$$m_1 = a + b \cdot QMD,$$

где a и b — коэффициенты линейного уравнения.

Второй центральный момент m_2 является дисперсией и рассчитывается по формуле

$$m_2 = QMD^2 - m_1^2.$$

Результаты аппроксимации функций распределения сравнивали с помощью таких показателей, как квадратный корень из среднеквадратической ошибки ($RMSE$), средняя абсолютная ошибка (MAE), среднее смещение ошибок (MBE):

$$RMSE = \sqrt{\sum \frac{(y_i - \hat{y}_i)^2}{n}},$$

$$MAE = \frac{\sum |y_i - \hat{y}_i|}{n},$$

$$MBE = \frac{\sum (\hat{y}_i - y_i)}{n},$$

где n — количество наблюдений;

y_i — фактическое значение;

\hat{y}_i — предсказанное по модели значение.

Степень соответствия (на 5%-м уровне значимости) исследуемых моделей реальным данным оценивалась путем сравнения эмпирической функции распределения с предсказанной. Статистика Колмогорова — Смирнова D_n была рассчитана для максимального абсолютного расстояния между наблюдаемыми и прогнозируемыми значениями функций распределения [18, 28]

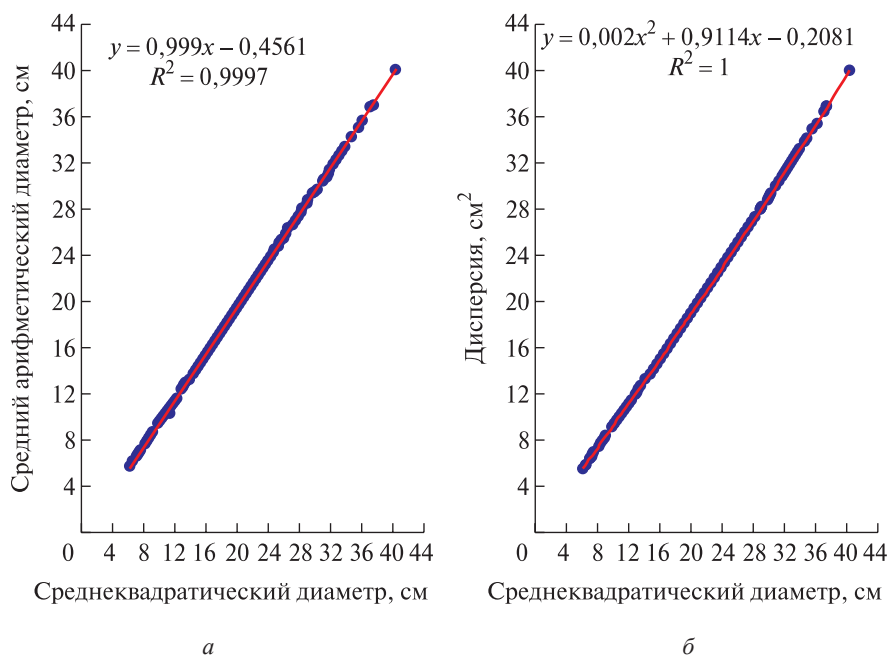


Рис. 1. Зависимость первого (а) и второго (б) моментов распределения Вейбулла от среднеквадратического диаметра
Fig. 1. Dependence of the first (а) and second (б) moments of the Weibull distribution on the quadratic mean diameter

$$D_n = \sup_x |F(x_i) - F_0(x_i)|,$$

где $F(x_i)$ — кумулятивное частотное распределение, наблюдаемое для элемента выборки x_i ($i = 1, 2, \dots, n$);

$F_0(x_i)$ — вероятность теоретического кумулятивного распределения частот.

Кроме того, применялся χ^2 -тест в качестве критерия согласия для сопоставления плотностей вероятности диаметров при 5%-м уровне значимости. В соответствии с теоретическим распределением диаметров критерий χ^2 с $m - k - 1$ степенями свободы (k — количество параметров распределения) рассчитывается следующим образом [29, 30]:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^m \frac{(n_i - \hat{n}_i)^2}{\hat{n}_i},$$

где m — количество ступеней толщины;

n_i — фактическое количество деревьев в i -й ступени толщины;

\hat{n}_i — теоретическое количество деревьев в i -й ступени толщины.

Анализ данных проводился с использованием языка программирования Python 3.5 с библиотеками NumPy 1.17.1 и SciPy 1.3.2.

Результаты исследования

Для лесных культур сосны Лесной опытной дачи Российского государственного аграрного университета — МСХА имени К.А. Тимирязева (далее — Лесная опытная дача) значение первого центрального момента m_1 распределения Вейбулла,

необходимого для определения параметров масштаба и формы, рассчитывается по эмпирической формуле (рис. 1)

$$m_1 = -0,456 + 0,999 \cdot QMD.$$

Взаимосвязь между первым центральным моментом и среднеквадратическим диаметром является статистически значимой ($F = 708703,0$ при $p < 0,0001$), при этом численные оценки константы ($t = -17,4$ при $p < 0,0001$) и углового коэффициента ($t = 841,8$ при $p < 0,0001$) значительно отличаются от нуля. Скорректированный коэффициент детерминации (R^2 -adj.) составил 0,9997. После проведения соответствующих замен уравнение для второго центрального момента m_2 приняло следующий вид (см. рис. 1)

$$m_2 = QMD^2 - (-0,456 + 0,999 \times QMD)^2.$$

Взаимосвязь между минимальным (d_{\min}) и максимальным (d_{\max}) диаметрами со среднеквадратическим диаметром может быть описана линейной функцией (рис. 2):

$$d_{\min} = -3,957 + 0,740 \times QMD, \quad (5)$$

$$d_{\max} = 8,240 + 1,142 \times QMD. \quad (6)$$

Оба уравнения являются статистически значимыми: для минимального диаметра — $F = 2263,7$ при $p < 0,0001$, для максимального диаметра — $F = 2323,9$ при $p < 0,0001$. Оценки параметров достоверно отличаются от нуля при $p < 0,0001$.

Статистики соответствия обобщенной модели экспериментальным данным
Generalized Model Correspondence Statistics to Experimental Data

QMD, см	Тест Колмогорова — Смирнова		χ^2 -тест		RMSE	MAE	MBE	n
	Статистика	Значимость при $\alpha = 0,05$, %	Статистика	Значимость при $\alpha = 0,05$, %				
6...10	0,105	0	46,526	19	0,045	0,034	0,032	16
10...14	0,111	25	40,701	36	0,049	0,036	0,031	28
14...18	0,118	60	44,549	48	0,044	0,035	0,028	42
18...22	0,134	83	32,290	47	0,045	0,036	0,022	47
22...26	0,129	100	35,242	46	0,047	0,038	0,022	36
26...30	0,140	97	40,204	37	0,050	0,043	0,021	30
30...34	0,163	73	19,393	64	0,079	0,062	0,055	22
34...38	0,211	100	10,264	50	0,089	0,075	0,055	6
38...42	0,203	100	8,322	50	0,088	0,087	0,087	4
Итого	0,135	68	37,285	31	0,053	0,042	0,027	231

Примечание: QMD — среднеквадратический диаметр; RMSE — квадратный корень из среднеквадратической ошибки; MAE — средняя абсолютная ошибка; n — количество наблюдений.

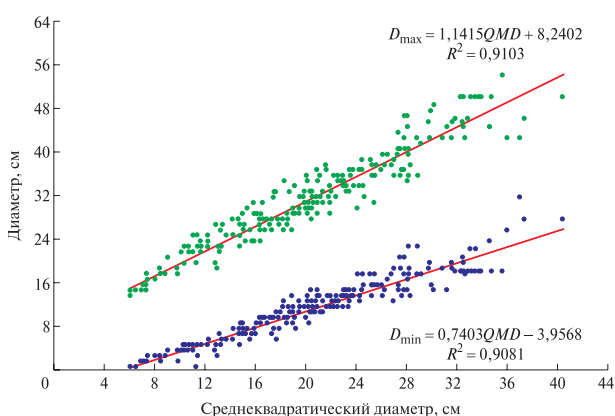


Рис. 2. Зависимость минимального и максимального диаметров от среднеквадратического
Fig. 2. Dependence of the minimum and maximum diameters on the quadratic mean diameter

Скорректированный коэффициент детерминации для уравнения (5) равен 0,908, для уравнения (6) — 0,910.

Уравнение (5) позволяет рассчитывать параметр смещения *a* трехпараметрического распределения Вейбулла. Минимальное значение диаметра соответствует нулевому значению функции распределения. Для максимального значения диаметра, вычисляемого по уравнению (6), функция распределения должна принимать значение, близкое к единице.

Вычисленные усредненные статистики соответствия обобщенной модели экспериментальным данным представлены в таблице. Тест Колмогорова — Смирнова, используемый для сравнения эмпирических и прогнозируемых функций распределений, показал, что обобщенная модель точно отражает распределение

диаметров в 68 % случаев, а χ^2 -тест, применяемый для сравнения эмпирических и прогнозируемых плотностей вероятности — только в 31 % случаев при уровне значимости 0,05. Доля случаев, в которых нулевая гипотеза о соответствии распределений не была отклонена, зависит от среднеквадратического диаметра древостоев. Так, для теста Колмогорова — Смирнова наилучшее соответствие выявлено для среднеквадратических диаметров от 18 до 42 см (в 73...100 % случаев), а для χ^2 -теста — от 14 до 26 см (46...48 % случаев) и от 30 до 42 см (в 50...64 % случаев). Для молодых древостоев со средним диаметром стволов до 14 см модель показала плохие результаты. Однако метрики качества (RMSE, MAE, MBE), рассчитанные для эмпирических и прогнозируемых функций распределения, демонстрируют их увеличение при повышении среднеквадратического диаметра. Таким образом, результаты моделирования для всех возрастных этапов роста древостоев можно считать приемлемыми.

На рис. 3, 4 представлены примеры эмпирических (синий цвет) и прогнозируемых (красный цвет) функций распределения и плотностей вероятности диаметров стволов для соснового древостоя различных возрастов на постоянной пробной площади 4/Б Лесной опытной дачи. Из этих рисунков следует, что у древостоя в возрасте 21 года и 39 лет имеются отклонения фактических значений от прогнозируемых: по тестам Колмогорова — Смирнова и χ^2 нулевая гипотеза о соответствии распределений отклоняется в пользу альтернативной при уровне значимости 0,05 (главным образом, за счет сравнительно небольшого числа степеней свободы).

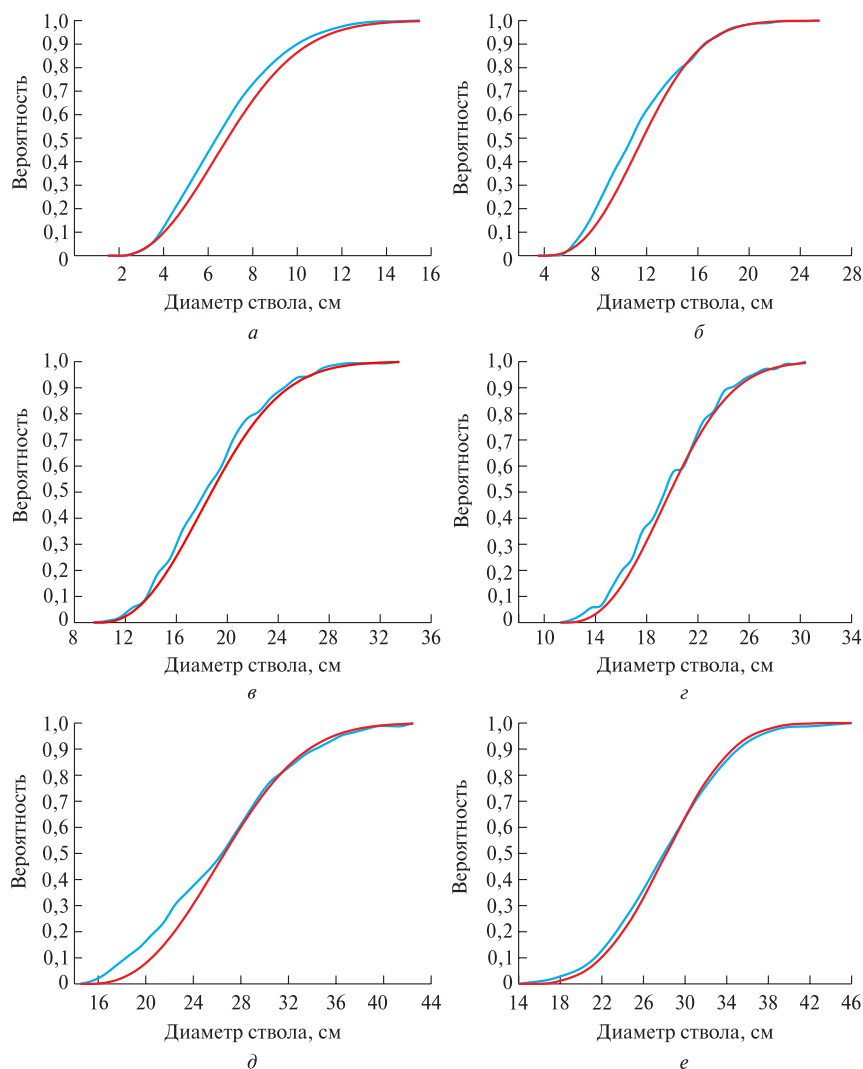


Рис. 3. Соответствие эмпирических и прогнозируемых функций распределения (пробная площадь 4/Б) диаметров стволов деревьев в древостоях с различным возрастом: а — 21 год ($KS = 0,098$; $p = 3,33e-12$); б — 39 лет ($KS = 0,103$; $p = 6,38e-05$); в — 59 лет ($KS = 0,060$; $p = 0,58$); г — 79 лет ($KS = 0,083$; $p = 0,43$); д — 102 года ($KS = 0,100$; $p = 0,34$); е — 114 лет ($KS = 0,154$; $p = 0,02$)

Fig. 3. Correspondence of empirical and predicted distribution functions (trial plot 4/Б) of tree trunk diameters in forest stands with different ages: а — 21 years ($KS = 0,098$; $p = 3,33e-12$); б — 39 years old ($KS = 0,103$; $p = 6,38e-05$); в — 59 years old ($KS = 0,060$; $p = 0,58$); г — 79 years old ($KS = 0,083$; $p = 0,43$); д — 102 years ($KS = 0,100$; $p = 0,34$); е — 114 years ($KS = 0,154$; $p = 0,02$)

Тем не менее визуальный анализ показывает, что смоделированные кривые отражают закономерности распределения диаметров стволов в эмпирических данных. В возрасте древостоя 59, 79 и 102 лет нулевая гипотеза о соответствии распределений не была отклонена при уровне значимости 0,05. В возрасте древостоя 114 лет получено p -значение $< 0,05$, что связано с уменьшением числа степеней свободы вследствие укрупнения ступеней толщины в результате снижения количества растущих деревьев. При уровне значимости 0,01 в этом случае нулевая гипотеза соответствия смоделированных кривых фактическим данным не отклоняется.

Обсуждение результатов

Разработанная обобщенная модель распределения деревьев по толщине в культурах сосны в сочетании с моделями зависимости высоты деревьев от диаметров стволов могут служить полезным инструментом по управлению лесными насаждениями, давая возможность получать структуру запаса. Ранние модели частот встречаемости диаметров стволов деревьев для прогноза использовали среднеквадратический диаметр, который относится к основным показателям древостоев в лесном хозяйстве. В последние годы возрастает интерес к среднеквадратическому

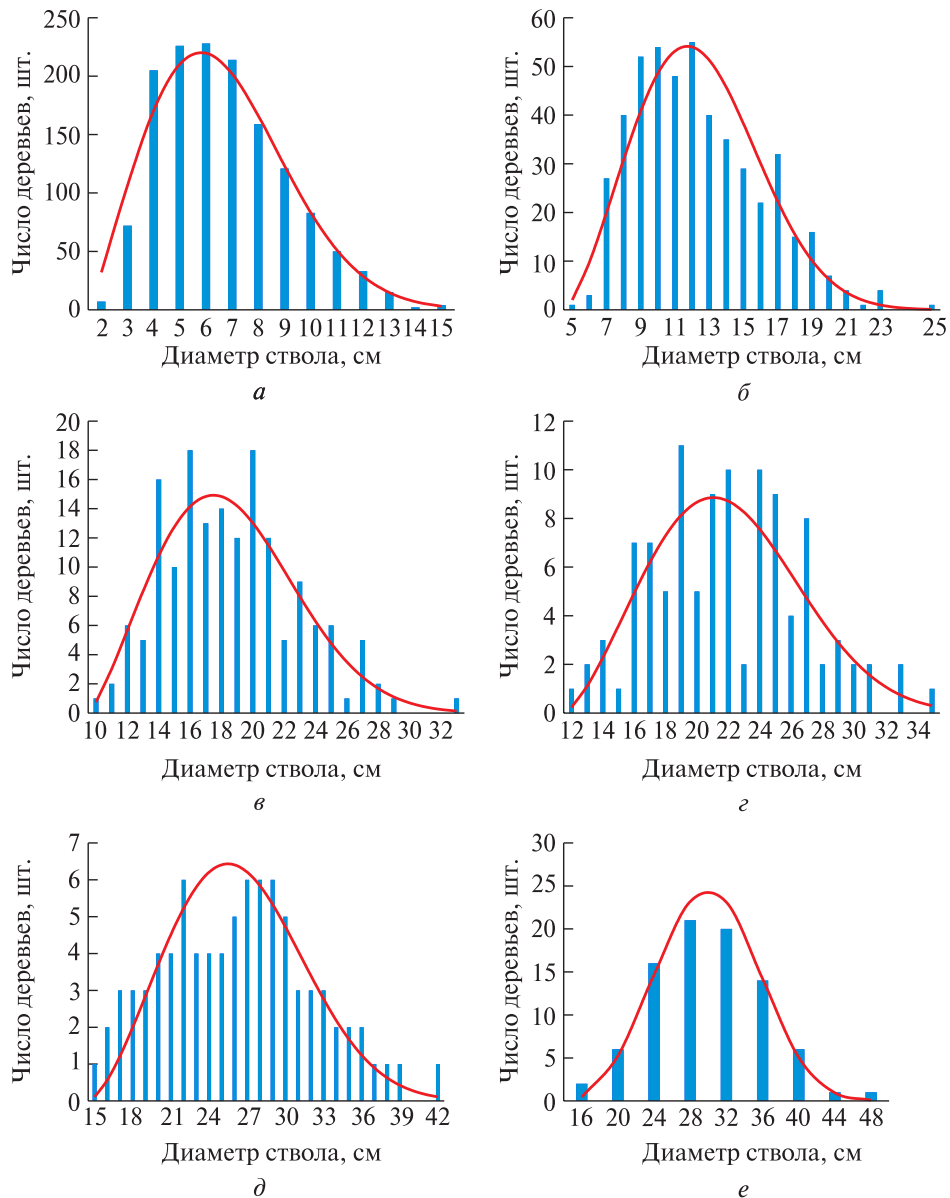


Рис. 4. Соответствие эмпирических и прогнозируемых функций распределения (пробная площадь 4/Б) диаметров стволов деревьев в древостоях с различным возрастом: *a* — 21 год ($KS = 0,098$; $p = 3,33e-12$); *б* — 39 лет ($KS = 0,103$; $p = 6,38e-05$); *в* — 59 лет ($KS = 0,060$; $p = 0,58$); *г* — 79 лет ($KS = 0,083$; $p = 0,43$); *д* — 102 года ($KS = 0,100$; $p = 0,34$); *е* — 114 лет ($KS = 0,154$; $p = 0,02$)

Fig. 4. Correspondence of empirical and predicted probability density functions (trial plot 4/Б) of diameters of tree trunks in forest stands with different ages: *a* — 21 years ($\chi^2 = 44,7$; $p = 5,46e-06$); *б* — 39 years ($\chi^2 = 52,0$; $p = 6,71e-05$); *в* — 59 years ($\chi^2 = 22,2$; $p = 0,39$); *г* — 79 years ($\chi^2 = 25,2$; $p = 0,24$); *д* — 102 years ($\chi^2 = 26,32$; $p = 0,39$); *е* — 114 years ($\chi^2 = 16,02$; $p = 0,01$)

диаметру как к показателю для прогнозирования распределения деревьев по толщине [18, 25, 31]. В некоторых работах [18, 32] подчеркивается, что эмпирические модели не должны быть сложными, особенно если их назначением является применение в практике лесного хозяйства, а не в научных исследованиях. Полученная обобщенная модель соответствует этому требованию. Дискуссионным остается вопрос выбора двух- или трехпараметрической функции Вейбулла.

Нет единого мнения относительно лучшей и универсальной параметрической функции распределения деревьев по диаметрам стволов. Как правило, для каждой древесной породы в определенных лесорастительных условиях рассматривается несколько моделей, из которых выбирается более соответствующая. В разных исследованиях приводятся результаты анализов для распределения Вейбулла, которые показывают, что предпочтительными являются либо двухпараметрическая [33],

либо трехпараметрическая функции [34]. Однако в случае значительного смещения распределения деревьев по диаметрам стволов в крупные ступени толщины (например, в результате проведения рубок или воздействия неблагоприятных природных факторов) двухпараметрическая модель уступает трехпараметрической. Кроме того, различаются мнения об использовании в моделировании или теоретических функций распределения, или непараметрических способов, в которых нет необходимости априори принимать какую-либо теоретическую форму функции, и поэтому их можно использовать для моделирования распределений любой формы. М. Maltamo и соавт. [33] отмечают, что нет математических, и особенно биологических оснований для предположения какого-либо теоретического распределения диаметров стволов деревьев.

В недавних работах, посвященных распределению диаметров стволов деревьев в древостоях, применяются инструменты дистанционного зондирования [35, 36]. Тем не менее на текущем этапе технологического развития все еще существует необходимость оценивания этих распределений косвенно с помощью прогностических моделей [2]. Эмпирические модели могут оказать ценную помощь современным цифровым технологиям в представлении распределения диаметров стволов деревьев. При этом основным применением разработанных моделей является прогнозирование будущих распределений диаметров стволов деревьев для оптимизации процессов управления лесными насаждениями. Для решения этой задачи в модель распределения необходимо включить прогнозируемые изменения среднеквадратического диаметра.

Выводы

На основе трехпараметрической функции Вейбулла разработана обобщенная модель распределения диаметров стволов деревьев для одновозрастных сосновых древостоев искусственного происхождения. Полученная модель позволяет рассчитывать частоту встречаемости деревьев по ступеням толщины стволов, только на основании значений среднеквадратического диаметра стволов деревьев древостоя, который относится к одним из главных таксационных показателей. Разработанная модель с высокой точностью аппроксимирует фактические распределения диаметров стволов деревьев в приспевающих, средневозрастных и спелых древостоях. В молодняках возможны отклонения между фактическими и прогнозируемыми значениями частот, но в то же время смоделированные кривые способны достаточно точно передавать форму эмпирических распределений диаметров стволов деревьев.

Список литературы

- [1] Mehtätalo L. An algorithm for ensuring compatibility between estimated percentiles of diameter distribution and measured stand variables // *Forest Science*, 2004, no. 50(1), pp. 20–32. DOI: 10.1093/forestscience/50.1.20
- [2] Maltamo M., Mehtätalo L., Valbuena R., Vauhkonen J., Packalen P. Airborne laser scanning for tree diameter distribution modelling: a comparison of different modelling alternatives in a tropical single-species plantation // *Forestry*, 2018, no. 91(1), pp. 121–131. DOI: 10.1093/forestry/cpx041
- [3] Baile R.L., Dell T.R. Quantifying diameter distributions with the Weibull function // *Forest Science*, 1973, no. 19, pp. 97–104.
- [4] Hyink D.M., Moser J.W. A generalized framework for projecting forest yield and stand structure using diameter distributions // *Forest Science*, 1983, no. 29, pp. 85–95.
- [5] Lei X., Peng C., Wang H., Zhou X. Individual height-diameter models for young black spruce (*Picea mariana*) and jack pine (*Pinus banksiana*) plantations in New Brunswick, Canada // *Forest. Chron.*, 2009, no. 85, pp. 43–56. DOI: 10.5558/tfc85043-1
- [6] Ochał W., Pajak M., Pietrzykowski M. Diameter structure of selected pine stands growing on post-mining sites reclaimed for forestry // *Sylwan*, 2010, no. 154, pp. 323–332.
- [7] Иванова Н.С., Мазуркин П.М. Распределение деревьев березы на лесосеке по ступеням толщины и товарности // *ИВУЗ Лесной журнал*, 2007. № 6. С. 58–63.
- [8] Черных В.Л., Черных Л.В., Черных Д.В. Унифицированный алгоритм расчета товарной и сортиментной структуры запаса древостоев // *Вестник Поволжского государственного технологического университета*. Серия: Лес. Экология. Природопользование, 2020. № 2 (46). С. 27–45. DOI: 10.25686/2306-2827.2020.2.27
- [9] Bliss C.I., Reinker K.A. A Lognormal Approach to Diameter Distributions in Even-Aged Stands // *Forest Science*, 1964, v. 10, iss. 3, pp. 350–360. DOI: 10.1093/forestscience/10.3.350
- [10] Maltamo M., Puumalainen J., Päivinen R. Comparison of beta and Weibull functions for modelling basal area diameter distribution in stands of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* // *Scandinavian J. of Forest Research*, 1995, no. 10, pp. 284–295.
- [11] Ставрова Н.И., Горшков В.В., Катюнин П.Н. Динамика распределения особей в популяциях ели сибирской и березы пушистой по величине диаметра ствола в процессе послепожарных сукцессий северотаежных еловых лесов // *Лесоведение*, 2010. № 3. С. 21–31.
- [12] Ciceu A., Pitar D., Badea O. Modeling the Diameter Distribution of Mixed Uneven-Aged Stands in the South Western Carpathians in Romania // *Forests*, 2021, no. 12, id. 958. DOI: 10.3390/f12070958
- [13] Baile R.L., Dell T.R. Quantifying diameter distributions with the Weibull function // *Forest Science*, 1973, no. 19, pp. 97–104.
- [14] Fonseca T.F., Marques C.P., Parresol B.R. Describing Maritime Pine diameter distribution with Johnson's SB distribution using a new all-parameter recovery approach // *Forest Science*, 2009, no. 55, pp. 367–373.
- [15] Mateus A., Tomé M. Modelling the diameter distribution of eucalyptus plantations with Johnson's SB probability density function: Parameters recovery from a compatible system of equations to predict stand variables // *Ann. For. Sci.* 2011, no. 68, pp. 325–335.
- [16] Borders B.E., Souter R.A., Bailey R.L., Ware K.D. Percentile-based distributions characterize forest stand tables // *Forest Science*, 1987, no. 33, pp. 570–576.

- [17] Хлюстов В.К., Лебедев А.В. Товарно-денежный потенциал древостоев и оптимизация лесопользования. Иркутск: Мегапринт, 2017, 328 с.
- [18] Pogoda P., Ochał W., Orzeł S. Modeling Diameter Distribution of Black Alder (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) Stands in Poland // *Forests*, 2019, no. 10, id 412. DOI: 10.3390/f10050412
- [19] Дубенок Н.Н., Кузьмичев В.В., Лебедев А.В. Результаты экспериментальных работ за 150 лет в Лесной опытной даче Тимирязевской сельскохозяйственной академии. М.: Наука, 2020. 382 с.
- [20] Дубенок Н.Н., Кузьмичев В.В., Лебедев А.В. Рост и продуктивность древостоев сосны и лиственницы в условиях городской среды // *Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование*, 2018. № 1(37). С. 54–71. DOI 10.15350/2306-2827.2018.1.54
- [21] Наумов В.Д., Поветкина Н.Л., Лебедев А.В., Гемонов А.В. Географические культуры сосны в лесной опытной даче Тимирязевской академии: к 180-летию М.К. Турского. М.: Изд-во МЭСХ, 2019. 182 с.
- [22] Третьяков В.А. Динамика распределения деревьев по диаметрам в густых культурах сосны, ели и кедра // *Лесоведение*, 2005. № 5. С. 72–74.
- [23] Soares T.S., Leite H.G., Soares C.P.B., Vale A.B. Comparação de diferentes abordagens na modelagem da distribuição diamétrica // *Floresta*, 2010, № 40(4), pp. 731–738. DOI: 10.5380/rf.v40i4.20325
- [24] Miranda R., Fiorentin L., Netto S.P., Juvanhol R., Corte A.D. Prediction System for Diameter Distribution and Wood Production of Eucalyptus // *Floresta Ambient*, 2018, no. 25(3). DOI: 10.1590/2179-8087.054816
- [25] Stankova T.V., Zlatanov T.M. Modeling diameter distribution of Austrian black pine (*Pinus nigra* Arn.) plantation: a comparison of the Weibull frequency distribution function and percentilebased projection methods // *Eur. J. Forest Res.*, 2010, no. 129, pp. 1169–1179. DOI: 10.1007/s10342-010-0407-y
- [26] Gorgoso J.J., Rojo A., Camara-Obregon A., Dieguez-Aranda U. A comparison of estimation methods for fitting Weibull, Johnson's SB and beta functions to *Pinus pinaster*, *Pinus radiata* and *Pinus sylvestris* stands in northwest Spain // *Forest Systems*, 2012, no. 21(3), pp. 446–459. DOI: 10.5424/fs/2014233-04939
- [27] Ogana F.N., Osho J.S.A., Gorgoso-Varela J.J. Comparison of beta, Gamma and Weibull distributions for characterizing tree diameter in Oluwa Forest Reserve, Ondo State, Nigeria // *J. of Natural Sciences Research*, 2015, no. 5(4), pp. 28–36.
- [28] Ogana F.N., Itam E.S., Osho J.S.A. Modeling diameter distributions of Gmelina arborea plantation in Omo Forest Reserve, Nigeria with Johnson's SB // *J. of Sustainable Forestry*, 2016. DOI: 10.1080/10549811.2016.1263575
- [29] Wang J., Yan M., Huang Q., Huang R., Zheng Q. Diameter Distribution of Semi-natural Mixed Forest of *Pinus massoniana* and Broadleaved Trees Based on Stratification // *Forest Research*, 2021, no. 34(3), pp. 72–80. DOI: 10.13275/j.cnki.lykxyj.2021.03.008
- [30] Chen Y., Wu B., Min Z. Stand Diameter Distribution Modeling and Prediction Based on Maximum Entropy Principle // *Forests*, 2019, no. 10(10), id 859. DOI: 10.3390/f10100859
- [31] Schütz J.P., Rosset C. Performances of different methods of estimating the diameter distribution based on simple stand structure variables in monospecific regular temperate European forests // *Annals of Forest Science*, 2020, no. 77, id 47. DOI: 10.1007/s13595-020-00951-3
- [32] Borders B.E., Patterson W.D. Projecting stand tables: A comparison of the Weibull diameter distribution method, a percentile-based projection method, and a basal area growth projection method // *Forest Science*, 1990, no. 36, pp. 413–424.
- [33] Maltamo M., Puumalainen J., Päivinen R. Comparison of beta and Weibull functions for modelling basal area diameter distribution in stands of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* // *Scandinavian J. of Forest Research*, 1995, no. 10, pp. 284–295.
- [34] Sakici O.E., Gülsunar M. Diameter Distribution of Bornmullerian Fir in Mixed Stands // *Kastamonu Univ. J. of Forestry Faculty*, 2012, pp. 263–270.
- [35] Rudge M.L.M., Levick S.R., Bartolo R.E., Erskine P.D. Modelling the Diameter Distribution of Savanna Trees with Drone-Based LiDAR // *Remote Sensing*, 2021, no. 13, id. 1266. DOI: 10.3390/rs13071266
- [36] Hao Y., Widagdo F.R.A., Liu X., Quan Y., Liu Z., Dong L., Li F. Estimation and calibration of stem diameter distribution using UAV laser scanning data: A case study for larch (*Larix olgensis*) forests in Northeast China // *Remote Sensing of Environment*, 2022, no. 268, id. 112769. DOI: 10.1016/j.rse.2021.112769

Сведения об авторе

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

Поступила в редакцию 17.12.2021.

Одобрено после рецензирования 01.02.2022.

Принята к публикации 04.04.2022.

GENERALIZED MODEL OF PINE TREES DIAMETER DISTRIBUTION

A.V. Lebedev

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

alebedev@rgau-msha.ru

A generalized statistical model for the distribution of tree diameters for pine forest plantations, developed on the basis of a three-parameter Weibull function, is presented. Its parameters were restored using data from 231 distribution series on 24 permanent sample plots in the Forest Experimental Station of the Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy from the first and second central moments of the distribution. It is shown that their estimates can be obtained from the equations of connection with the root-mean-square diameter of trunks in a forest stand. It was revealed that the developed model approximates with high accuracy the actual distributions of tree diameters in maturing, middle-aged and mature forest stands, and in young stands there may be deviations between the actual and predicted frequency values. It is shown that the main purpose of the developed model is to predict the distribution of diameters of tree trunks in future ages of forest stands to optimize the management of forest plantations.

Keywords: generalized model, diameter distribution, Weibull distribution, pine stand

Suggested citation: Lebedev A.V. *Obobshchennaya model' raspredeleniya diametrov derev'ev v sosnovykh drevostoyakh* [Generalized model of pine trees diameter distribution]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 4, pp. 53–62. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-4-53-62

References

- [1] Mehtätalo L. An algorithm for ensuring compatibility between estimated percentiles of diameter distribution and measured stand variables. *Forest Science*, 2004, no. 50(1), pp. 20–32. DOI: 10.1093/forestscience/50.1.20
- [2] Maltamo M., Mehtätalo L., Valbuena R., Vauhkonen J., Packalen P. Airborne laser scanning for tree diameter distribution modelling: a comparison of different modelling alternatives in a tropical single-species plantation. *Forestry*, 2018, no. 91(1), pp. 121–131. DOI: 10.1093/forestry/cpx041
- [3] Baile R.L., Dell T.R. Quantifying diameter distributions with the Weibull function. *Forest Science*, 1973, no. 19, pp. 97–104.
- [4] Hyink D.M., Moser J.W. A generalized framework for projecting forest yield and stand structure using diameter distributions. *Forest Science*, 1983, no. 29, pp. 85–95.
- [5] Lei X., Peng C., Wang H., Zhou X. Individual height-diameter models for young black spruce (*Picea mariana*) and jack pine (*Pinus banksiana*) plantations in New Brunswick, Canada. *Forest. Chron.*, 2009, no. 85, pp. 43–56. DOI: 10.5558/tfc85043-1
- [6] Ochał W., Pajak M., Pietrzykowski M. Diameter structure of selected pine stands growing on post-mining sites reclaimed for forestry. *Sylvan*, 2010, no. 154, pp. 323–332.
- [7] Ivanova N.S., Mazurkin P.M. *Raspredelenie derev'ev berezy na lesoseke po stupenyam tolshchiny i tovarnosti* [Distribution of birch trees in a felling area by steps of thickness and marketability]. *Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal)*, 2007, no. 6, pp. 58–63.
- [8] Chernykh V.L., Chernykh L.V., Chernykh D.V. *Unifitsirovannyi algoritm rascheta tovarnoy i sortimentnoy struktury zapasa drevostoev* [A Unified Algorithm to Calculate the Commodity and Assortment Structure of the Growing Stock]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie [Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management]*, 2020, no. 2 (46), pp. 27–45. DOI: 10.25686/2306-2827.2020.2.27
- [9] Bliss C.I., Reinker K.A. A Lognormal Approach to Diameter Distributions in Even-Aged Stands. *Forest Science*, 1964, v. 10, iss. 3, pp. 350–360. DOI: 10.1093/forestscience/10.3.350
- [10] Maltamo M., Puumalainen J., Päivinen R. Comparison of beta and Weibull functions for modelling basal area diameter distribution in stands of *Pinus sylvestris* and *Picea abies*. *Scandinavian J. of Forest Research*, 1995, no. 10, pp. 284–295.
- [11] Stavrova N.I., Gorshkov V.V., Katyunin P.N. *Dinamika raspredeleniya osobey v populyatsiyakh eli sibirskoy i berezy pushistoy po velichine diametra stvola v protsesse poslepozharnykh suktsessiy severotaezhnykh elovykh lesov* [Dynamics of the distribution of individuals in the populations of Siberian spruce and downy birch by the size of the trunk diameter in the process of post-fire successions of northern taiga spruce forests]. *Lesovedenie [Forest Science]*, 2010, no. 3, pp. 21–31.
- [12] Ciceu A., Pitar D., Badea O. Modeling the Diameter Distribution of Mixed Uneven-Aged Stands in the South Western Carpathians in Romania. *Forests*, 2021, no. 12, id. 958. DOI: 10.3390/f12070958
- [13] Baile R.L., Dell T.R. Quantifying diameter distributions with the Weibull function. *Forest Science*, 1973, no. 19, pp. 97–104.
- [14] Fonseca T.F., Marques C.P., Parresol B.R. Describing Maritime Pine diameter distribution with Johnson's SB distribution using a new all-parameter recovery approach. *Forest Science*, 2009, no. 55, pp. 367–373.
- [15] Mateus A., Tomé M. Modelling the diameter distribution of eucalyptus plantations with Johnson's SB probability density function: Parameters recovery from a compatible system of equations to predict stand variables. *Ann. For. Sci.* 2011, no. 68, pp. 325–335.
- [16] Borders B.E., Souter R.A., Bailey R.L., Ware K.D. Percentile-based distributions characterize forest stand tables. *Forest Science*, 1987, no. 33, pp. 570–576.
- [17] Khlyustov V.K., Lebedev A.V. *Tovarno-denezhnyy potentsial drevostoev i optimizatsiya lesopol'zovaniya* [Commodity-money potential of forest stands and optimization of forest management]. Irkutsk: Megaprint, 2017, 328 p.

- [18] Pogoda P., Ochał W., Orzeł S. Modeling Diameter Distribution of Black Alder (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) Stands in Poland // Forests, 2019, no. 10, id 412. DOI: 10.3390/f10050412
- [19] Dubenok N.N., Kuz'michev V.V., Lebedev A.V. *Rezultaty eksperimental'nykh rabot za 150 let v Lesnoy opytной dache Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [The results of experimental work for 150 years in the Lesnaya experimental dacha of the Timiryazev Academy]. Moscow: Nauka, 2020, 382 p.
- [20] Dubenok N.N., Kuz'michev V.V., Lebedev A.V. *Rost i produktivnost' drevostoev sosny i listvennitsy v usloviyakh gorodskoy sredy* [Growth and Productivity of Pine and Larch Stands under Conditions of Urban Environment]. Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie [Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management], 2018, no. 1(37), pp. 54–71. DOI 10.15350/2306-2827.2018.1.54
- [21] Naumov V.D., Povetkina N.L., Lebedev A.V., Gemonov A.V. *Geograficheskie kul'tury sosny v lesnoy opytной dache Timiryazevskoy akademii: k 180-letiyu M.K. Turskogo* [Geographical plantations of pine in the Forest Experimental Station of the Timiryazev Academy: to the 180th anniversary of M.K. Tursky]. Moskva: MESKh, 2019, 182 p.
- [22] Tretyakov V.A. *Dinamika raspredeleniya derev'ev po diametram v gushtykh kul'urakh sosny, eli i kedra* [Dynamics of the distribution of trees by diameter in dense plantations of pine, spruce and cedar]. Lesovedenie [Forest Science], 2005, no. 5, pp. 72–74.
- [23] Soares T.S., Leite H.G., Soares C.P.B., Vale A.B. Comparação de diferentes abordagens na modelagem da distribuição diamétrica. Floresta, 2010, № 40(4), pp. 731–738. DOI: 10.5380/ufv.v40i4.20325
- [24] Miranda R., Fiorentin L., Netto S.P., Juvanhol R., Corte A.D. Prediction System for Diameter Distribution and Wood Production of Eucalyptus. Floresta Ambient, 2018, no. 25(3). DOI: 10.1590/2179-8087.054816
- [25] Stankova T.V., Zlatanov T.M. Modeling diameter distribution of Austrian black pine (*Pinus nigra* Arn.) plantation: a comparison of the Weibull frequency distribution function and percentilebased projection methods. Eur. J. Forest Res., 2010, no. 129, pp. 1169–1179. DOI: 10.1007/s10342-010-0407-y
- [26] Gorgoso J.J., Rojo A., Camara-Obregon A., Dieguez-Aranda U. A comparison of estimation methods for fitting Weibull, Johnson's SB and beta functions to *Pinus pinaster*, *Pinus radiata* and *Pinus sylvestris* stands in northwest Spain. Forest Systems, 2012, no. 21(3), pp. 446–459. DOI: 10.5424/fs/2014233-04939
- [27] Ogana F.N., Osho J.S.A., Gorgoso-Varela J.J. Comparison of beta, Gamma and Weibull distributions for characterizing tree diameter in Oluwa Forest Reserve, Ondo State, Nigeria. J. of Natural Sciences Research, 2015, no. 5(4), pp. 28–36.
- [28] Ogana F.N., Itam E.S., Osho J.S.A. Modeling diameter distributions of Gmelina arborea plantation in Omo Forest Reserve, Nigeria with Johnson's SB. J. of Sustainable Forestry, 2016. DOI: 10.1080/10549811.2016.1263575
- [29] Wang J., Yan M., Huang Q., Huang R., Zheng Q. Diameter Distribution of Semi-natural Mixed Forest of *Pinus massoniana* and Broadleaved Trees Based on Stratification. Forest Research, 2021, no. 34(3), pp. 72–80. DOI: 10.13275/j.cnki.lykxyj.2021.03.008
- [30] Chen Y., Wu B., Min Z. Stand Diameter Distribution Modeling and Prediction Based on Maximum Entropy Principle. Forests, 2019, no. 10(10), id 859. DOI: 10.3390/f10100859
- [31] Schütz J.P., Rosset C. Performances of different methods of estimating the diameter distribution based on simple stand structure variables in monospecific regular temperate European forests. Annals of Forest Science, 2020, no. 77, id 47. DOI: 10.1007/s13595-020-00951-3
- [32] Borders B.E., Patterson W.D. Projecting stand tables: A comparison of the Weibull diameter distribution method, a percentile-based projection method, and a basal area growth projection method. Forest Science, 1990, no. 36, pp. 413–424.
- [33] Maltamo M., Puumalainen J., Päivinen R. Comparison of beta and Weibull functions for modelling basal area diameter distribution in stands of *Pinus sylvestris* and *Picea abies*. Scandinavian J. of Forest Research, 1995, no. 10, pp. 284–295.
- [34] Sakici O.E., Gulsunar M. Diameter Distribution of Bornmullerian Fir in Mixed Stands. Kastamonu Univ. J. of Forestry Faculty, 2012, pp. 263–270.
- [35] Rudge M.L.M., Levick S.R., Bartolo R.E., Erskine P.D. Modelling the Diameter Distribution of Savanna Trees with Drone-Based LiDAR. Remote Sensing, 2021, no. 13, id. 1266. DOI: 10.3390/rs13071266
- [36] Hao Y., Widagdo F.R.A., Liu X., Quan Y., Liu Z., Dong L., Li F. Estimation and calibration of stem diameter distribution using UAV laser scanning data: A case study for larch (*Larix olgensis*) forests in Northeast China. Remote Sensing of Environment, 2022, no. 268, id. 112769. DOI: 10.1016/j.rse.2021.112769

Author's information

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

Received 17.12.2021.

Approved after review 01.02.2022.

Accepted for publication 04.04.2022.

ОСОБЕННОСТИ ЛАНДШАФТНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ МЕМОРИАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ РЕСПУБЛИКИ КРЫМ

В.С. Теодоронский[✉], А.Е. Парфенова

МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1
vst01@mail.ru

Рассмотрены особенности ландшафтной организации мемориальных комплексов Республики Крым в городах Керчь, Ялта, Симферополь. с. Вилино (р. Альма). Приведены данные по их истории и современной объемно-пространственной структуре. Представлена характеристика функционального зонирования этих комплексов. Дана оценка состояния конструктивных элементов благоустройства и озеленения — зеленых насаждений и малых архитектурных форм с помощью количественного метода относительного интегрального показателя.

Ключевые слова: мемориальные комплексы, оценка территорий, функциональное зонирование

Ссылка для цитирования: Теодоронский В.С., Парфенова А.Е. Особенности ландшафтной организации мемориальных комплексов Республики Крым // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 4. С. 63–72. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-4-63-72

Мемориальные комплексы Республики Крым как объекты культурного наследия занимают особое место, сохраняя информацию о произошедших в нашей стране исторических событиях, и отличаются от других объектов ландшафтной архитектуры объемно-пространственной структурой, которая включает в себя памятники героям, панорамы битв, а также здания, сооружения и зеленые насаждения [1]. Согласно официальным данным [2, 3] в перечень объектов культурного наследия входят 4407 таких объектов.

Каждый мемориальный комплекс формирует историческое пространство города или населенного пункта, административного района, характеризуется своим архитектурно-художественным стилем, объединяя пространство окружающего ландшафта в единую композицию [4–6].

В архитектурно-ландшафтной организации территории мемориальных комплексов большое значение имеет функциональное зонирование на входные группы и сооружения, музейные и административные участки, ландшафтно-рекреационные зоны [4, 5]. Тесная связь музейной и ландшафтно-рекреационной зон демонстрирует так называемый музей под открытым небом, где можно погрузиться в прошлое и отправиться в путешествие по историческим событиям [7]. Обелиски и памятники в мемориальных комплексах являются элементами ландшафтно-рекреационной (парковой) зоны и лаконично дополняют их.

Мемориальные комплексы приравнивают к «живым» музеям под открытым небом, поэтому реконструкцию и/или реставрацию в их пределах сле-

дует проводить, исходя из детального визуально-ландшафтного предпроектного анализа, изучения архивных исторических и картографических документов [4, 5]. Мемориальные комплексы Республики Крым являются свидетельством ее героического прошлого со своими уникальными памятниками, поэтому изучение их ландшафтных особенностей является актуальным, особенно с позиции сохранения отечественного культурного наследия.

Цель работы

Цель работы — комплексный анализ современной структуры и оценка состояния ландшафтной организации территории мемориальных комплексов Республики Крым в городах Керчь (Музей истории обороны Аджимушкайских каменоломен, Мемориальный комплекс «Героям Эльтигенского десанта»), Ялта (Мемориальный комплекс в честь героев, погибших в годы Гражданской и Великой Отечественной войн на холме Дарсан («Холм Славы»)), в селе Вилино (Военно-исторический мемориал «Поле Альминского сражения») и Симферополь (Мемориальный комплекс — Военно-историческое кладбище участников Крымской войны 1853–1856 годов и могила генерал-лейтенанта А.К. Абрамова командира 13-й пехотной дивизии).

Методы исследования

Исследования проводились с помощью следующих методов: 1) маршрутно-визуальная оценка территории; 2) исторический и планово-картографический анализ территории; 3) количественный комплексный подход с использованием относительного интегрального показателя (ОИП).



Рис. 1. Мемориальные комплексы Республики Крым: 1 — Мемориальный комплекс — музей истории обороны «Аджимушкайские каменоломни»; 2 — Мемориальный комплекс «Героям Эльтигенского десанта»; 3 — Военно-историческое кладбище участников Крымской войны 1853–1856 годов и могила генерал-лейтенанта А.К. Абрамова, командира 13-й пехотной дивизии; 4 — Мемориальный комплекс в честь героев Гражданской и Великой Отечественной войн; 5 — Мемориальный комплекс «Поле Альминского сражения»

Fig. 1. Memorial complexes in the Republic of Crimea: 1 — Memorial complex — museum of the history of defense «Adzhimushkaysky quarries»; 2 — Memorial complex «To the Heroes of the Eltigen landing»; 3 — Military-historical cemetery of participants in the Crimean War of 1853–1856 and the grave of Lieutenant General A.K. Abramov, commander of the 13th Infantry Division; 4 — Memorial complex in part of the heroes of the Civil and Great Patriotic Wars; 5 — Memorial complex «Field of the Alma battle»

Результаты и обсуждение

Мемориальные комплексы Республики Крым в городах Керчь, Ялта, Симферополь, в селе Вилино (в устье р. Альма) включают в себя обелиски и памятники, здания и сооружения и отмечаются определенной ландшафтной структурой. Они несут в себе историческую память и достойны поклонения [8] (рис. 1).

Проанализируем исторические сведения и охарактеризуем рассматриваемые мемориальные комплексы.

Мемориальный комплекс — музей истории обороны «Аджимушкайские каменоломни», г. Керчь. Это объект историко-культурного наследия, площадью 3,6523 га, расположенный в черте г. Керчь и названный по пос. Аджи-Мушкай, в котором со второй половины мая до конца октября 1942 г. войсками Крымского фронта велась оборона. Оборона продолжалась 170 дней. Гарнизон совершал контратаки, несмотря на то, что все это время находился в катакомбах без света, свежего воздуха и тепла, в условиях острого дефицита еды, воды и медикаментов. Длина раскопанных ходов центральных каменоломен составляет более 8 км.

Аджимушкайская крепость, как ее называли в годы Великой Отечественной войны, стала для многих символом мужества и стойкости [9].

Территория комплекса имеет одну входную группу, которая в целом архитектурно не выражена, и представлена следующими мемориальными объектами (рис. 2):

- 1) Музей истории обороны Аджимушкайских каменоломен (подземный музей);
- 2) выставка «В архитектурных пилонах»;
- 3) выставка «Оружие 1941–1945 годов»;
- 4) диорама «Северо-Восточный плацдарм».

Летом 2021 года Восточно-Крымский историко-культурный музей-заповедник временно приостановил работу в силу сложившихся неблагоприятных условий (карантин, «пандемия») на всех мемориальных объектах комплекса. В дальнейшем, было отмечено их аварийное состояние и нарушения в функционально-планировочном отношении территорий, их благоустройстве и состоянии зеленых насаждений. Кроме того, зона прогулок и отдыха не отвечает потребностям современного человека, не продумана трассировка дорожно-тропиночной сети, отсутствует рацио-



Рис. 2. Мемориальный комплекс — музей истории обороны «Аджимушкайские каменоломни». Скульптурная группа «Стена героев» у входа (ссылка на сайт: <https://dostop.ru/krym/adzhimushkajskie-kamenolomni.html>)

Fig. 2. Memorial complex — museum of the history of defense «Adzhimushkay quarries». The sculptural group «Wall of Heroes» at the entrance (link to the site: <https://dostop.ru/krym/adzhimushkajskie-kamenolomni.html>)

нальное распределение нагрузок на территорию комплекса. Озеленение объекта культурного наследия представлено скудно: имеется единственная аллеяная посадка кустарников вдоль дорожки, ведущей к музейному комплексу. Автостоянка расположена за пределами объекта, у входной зоны. На территории просматривается конфликт использования пространственных ресурсов города, как системы взаимодействия антропогенной и природной среды [10, 11].

Мемориальный комплекс «Героям Эльтигенского десанта». Мемориал находится на высоте 30 м н. у. м. на берегу Керченского залива в жилом районе (микрорайон Георгиевское). Объект представлен сложной объемно-пространственной архитектурной композицией «Парус» и «Стена героев», установленный на месте героических боев десанта, удерживавшего вверенный им рубеж с 1 ноября по 9 декабря 1943 г. (рис. 3).

Сравнительно недавно в его состав вошла Аллея героев со 147 памятными табличками. На объекте две входные группы: главная и второстепенная. *Главная входная группа*, по архитектурному замыслу, представлена лестничным маршем, при подъеме на который открывается основная точка восприятия комплекса. Площадка у подножия холма рассчитана на фронтальное восприятие комплекса. С этого положения читается не только композиция «Парус», но и «Стена героев». *Второстепенная входная группа* появилась значительно позднее, что было связано с закладкой Аллеи героев, которая читается, как звезда с высоты птичьего полета.

Музейная и административная функциональные зоны на объекте не представлены.



Рис. 3. Общий вид мемориального комплекса «Героям Эльтигенского десанта» (ссылка на сайт: <https://yandex.ru/images/searchhp=2&source=serp&text=Героям+Эльтигенского+десанта>)

Fig. 3. General view of the memorial complex «To the Heroes of the Eltigen landing» (link to the site: <https://yandex.ru/images/searchhp=2&source=serp&text=Героям+Эльтигенского+десанта>)

В 2017 г. общественностью была заложена Аллея героев, в честь Героев Советского Союза, освобождавших город. К сожалению, все посадки молодых деревьев на Аллее героев, погибли по причине отсутствия системы ухода.



а



б

Рис. 4. Мемориал «Военно-историческое кладбище участников Крымской войны 1853–1856 годов и могила генерал-лейтенанта А.К. Абрамова» с Храмом св. Марии Магдалины: а — перспектива (ссылка на сайт: https://yandex.ru/images/search?pos=2&img_url=https%3A%2F%2Fupload); б — вид на памятник культурного наследия — Храм св. Марии Магдалины (фото А.Е. Парфеновой)

Fig. 4. Memorial «Military Historical Cemetery of Participants of the Crimean War of 1853–1856 and the grave of Lieutenant General A.K. Abramov» with the church of St. Mary Magdalene: а — perspective (link to the site: https://yandex.ru/images/search?pos=2&img_url=https%3A%2F%2Fupload); б — view of the monument of cultural heritage — the church of St. Mary Magdalene (photo by A.E. Parfenova)

В дальнейшем предполагается расширение границ территории мемориала как памятника культурного наследия с разработкой проекта благоустройства и реконструкции территории. В комплексе имеется *буферная зона*, представленная автостоянками на нижнем и верхнем уровнях.

Мемориальный комплекс — Военно-историческое кладбище участников Крымской войны 1853–1856 годов и могила генерал-лейтенанта А.К. Абрамова, командира 13-й пехотной дивизии, 1854–1860 годы, 1886 год, 2000-е годы (г. Симферополь). По сути, это погост, где нашли упокоение умершие от ран и болезней солдаты русской армии в Крымской войне (более 36 тыс.). Архитектурно мемориальный комплекс оформлен и благоустроен во второй половине XIX — начале XX вв. Уничтожен в 1930-х годах. Восстановлен в 2004 г. Реконструирован в 2017 г. [12, 13]. Мемориальный комплекс имеет ограждение, однако вход свободный. Входная группа представлена коваными воротами. Музейная часть отсутствует. На территории комплекса расположены 34 мемориальных объекта, действующий храм в честь св. Марии Магдалины. В 2017 г. на территории комплекса были проведены работы по благоустройству и озеленению, посажены лиственные и хвойные деревья и кустарники, устроены цветники (рис. 4).

Мемориальный комплекс в честь героев, погибших в годы Гражданской и Великой Отечественной войн на холме Дарсан («Холм Славы»). Мемориал находится на одной из трех главных возвышенностей в пределах г. Ялта, на высоте 110 м н. у. м. Как объект культурного наследия, он олицетворяет вечную память погибшим на Южном берегу Крыма воинам и является своего рода символом Ялты. Его называют

еще «Холм Славы» [14]. Находясь на территории мемориала, попадаешь в мир прошлого. Полукруглая архитектурная объемно-пространственная конструкция символизирует стойкость и мужество русских героев [15–20].

Здесь расположены три мемориальных объекта:

- 1) памятник в форме кольца с вечным огнем и стелой;
- 2) мемориальная доска;
- 3) закладной камень.

Озеленение представлено аллеями, массивами, живыми изгородями, цветниками в вазонах. Музейная и административная зоны отсутствуют, хозяйственная зона вынесена на периферию (рис. 5).

Военно-исторический мемориал «Поле Альминского сражения». Мемориал посвящен сражению на р. Альме 8 сентября 1854 г. — первому крупнейшему сражению в Крымской войне между российским войском и войсками коалиции (Великобритании, Франции, Турции). Он расположен в нескольких километрах от Севастополя, на Западном берегу Крыма, где находится село Вилино (ранее — Бурлюк). С середины XX в. комплекс пребывал в полузаброшенном состоянии. К 150-летию со дня окончания Крымской войны было принято решение о его восстановлении.

К 2021 г. проведена реконструкция территории по благоустройству, восстановлено ограждение и входная группа, функционирует часовня, уточнены и восстановлены 15 мемориальных объектов, установлены информационные щиты. Парковка автотранспорта размещается за пределами территории мемориала, однако парковочные места не оборудованы. Ландшафтно-рекреационная (парковая) зона представлена единичными деревьями — самосевом, естественным травостоем



а

б

Рис. 5. Мемориальный комплекс в честь героев, погибших в годы Гражданской и Великой Отечественной войн на холме Дарсан («Холм Славы»), г. Ялта: а — общий вид; б — центральная часть композиции — кольцо с вечным огнем и стелой (ссылка на сайт: <https://krym-yalta.ru/xolm-slava-yalta.html>)

Fig. 5. Memorial complex in honor of the heroes of the Civil and Great Patriotic Wars; Hill of Glory Mount Darsan, Yalta: а — general view; б — The central part of the composition of the memorial: a ring with an eternal flame and a stele (link to the site: <https://krym-yalta.ru/xolm-slava-yalta.html>)



Рис. 6. Общий вид территории Военно-исторического мемориала «Поле Альминского сражения» с мемориальными объектами офицерам и солдатам (фото А.Е. Парфеновой)

Fig. 6. General view of the Military Historical Memorial «Field of the Battle of Alma» with memorial objects to officers and soldiers (photo by A.E. Parfenova)

с сезонной динамикой. Летом 2021 г. были проведены восстановительные работы по благоустройству территории (рис. 6).

При выполнении работ по реконструкции в пределах рассматриваемых мемориалов должны быть четче обозначены функциональные зоны: входная, административная, мемориальная, музейная, ландшафтно-рекреационная, в частности зона прогулок и зона отдыха (табл. 1).

Из приведенных в табл. 1 данных следует, что в силу различных причин, как экологического, так и социального характера, не выражено функциональное зонирование территорий.

Отсутствуют административные и музейные части на территориях комплексов «Аджи-мушкой» и «Военно-историческое кладбище участников Крымской войны 1853–1856 годов»,

«Мемориальный комплекс «Поле Альминского сражения».

В табл. 2 приведена оценка состояния основных конструктивных элементов на территориях мемориальных комплексов (по методике А.И. Репецкой, И.А. Парфеновой, и др.). Относительный интегральный показатель рассчитан по формуле

$$\text{ОИП} = S^1 / S^2,$$

где S^1 — общая сумма оценок всех элементов благоустройства и озеленения объекта (баллы);

S^2 — максимальная сумма баллов для объекта.

Относительный интегральный показатель является дробной величиной и варьирует от 0 до 1 (менее 0,3 — это 2 балла, т. е. «неудовлетворительно»; 0,3...0,7 — 3 балла, т. е. «удовлетворительно»; 0,7...0,9 — 4 балла, т. е. «хорошо»).

Т а б л и ц а 1

Функциональное зонирование мемориальных комплексов
Functional zoning of memorial complexes

Наименование мемориального комплекса	Площадь объекта, га	Функциональные зоны					Буферная (авгостоянки)
		Входная	Административная	Мемориальная, ед.	Музейная	Ландшафтно-рекреационная зона прогулок и зона огдыха; структура насаждений	
Музей истории обороны «Аджимушкайские каменоломни»	3,6523	Одна входная группа, не выражена	–	4	Музей истории обороны Аджимушкайских каменоломней (подземный музей)	Аллеи; кустарники в группах	За пределами объекта, у входа
Мемориальный комплекс «Героям Эльтигенского десанта»	0,62	Две входные группы, не выражена	–	3	–	Цветники	То же
Мемориальный комплекс — Военно-историческое кладбище участников Крымской войны 1853–1856 годов и могила генерал-лейтенанта А.К. Абрамова, командира 13-й пехотной дивизии, 1854–1860 годы, 1886 год, 2000-е годы	2,39	Одна входная группа	Здание администрации	34	–	Аллеи из древесных; группы деревьев, кустарников	За пределами объекта, у входа (не оборудована)
Мемориальный комплекс в честь героев, погибших в годы Гражданской и Великой Отечественной войн на холме Дарсан («Холм Славы»)	1,5211	Две входные группы	–	3	–	Пейзажная планировка; аллеи, массивы, изгороди, цветники в вазонах	За пределами объекта, у входа и на территории объекта
Военно-исторический мемориал «Поле Альминского сражения»	1,55	Одна входная группа	–	15	–	Солитеры, хаотично выросшие (самосев)	За пределами объекта, у входа

Оценка состояния конструктивных элементов территории мемориальных комплексов по общему интегральному показателю

Assessment of the structural elements state of the territory of memorial complexes according to the general integral indicator

Конструктивные элементы на территории мемориальных комплексов	Мемориальный комплекс — музей истории обороны «Аджимушкайские каменоломни»	Мемориальный комплекс «Героям Эльтигенского десанта»	Мемориальный комплекс — Военно-историческое кладбище участников Крымской войны 1853–1856 годов и могила генерал-лейтенанта А.К. Абрамова, командира 13-й пехотной дивизии, 1854–1860 годы, 1886 год, 2000-е годы	Мемориальный комплекс в честь героев, погибших в годы Гражданской и Великой Отечественной войн на холме Дарсан («Холм Славы»)	Военно-исторический мемориал «Поле Альминского сражения»
Зеленые насаждения					
Древесно-кустарниковые (смешанные) группы	1	1	0	4	1
Деревья до 5 лет	1	1	5	5	1
Деревья в группах старше 5 лет	1	1	5	5	4
Кустарники в группах	4	1	4	5	1
Живые изгороди	1	1	1	4	1
Солитеры (одиночные посадки деревьев и кустарников)	1	1	0	5	1
Аллеи, рядовые посадки деревьев	1	1	4	5	1
Газоны партерные	0	0	0	0	0
Газоны лугового типа	2	2	3	5	3
Цветники	1	2	1	4	0
Малые архитектурные формы и сооружения					
Урны	2	1	4	4	5
Скамьи	3	1	5	5	5
Оборудование детских площадок	0	1	0	0	0
Скульптура	4	4	5	5	5
Освещение (фонари)	1	1	4	5	1
Ограды	0	0	5	0	5
Дорожно-тропиночная сеть (элементы)	2	2	0	1	1
Системы полива (элементы)	1	1	4	5	5
Декоративные сооружения городского типа	0	0	0	0	0
Общая сумма баллов по элементам объекта	26	21	50	63	39
Максимальная сумма баллов по объекту	75	75	65	75	75
Общий интегральный показатель	0,35	0,28	0,77	0,84	0,52
Категория состояния, баллы	3	4	2	4	3

По приведенным данным, высший ОИП отмечен для Мемориального комплекса в честь героев, погибших в годы Гражданской и Великой Отечественной войн на холме Дарсан («Холм Славы») и Военно-исторического кладбища участников Крымской войны 1853–1856 годов и могилы генерал-лейтенанта А.К. Абрамова, командира 13-й пехотной дивизии, 1854–1860 годы, 1886 год, 2000-е годы. Это обусловлено недавно проведенными реконструктивными работами по благоустройству. Мемориальные комплексы г. Керчь имеют низкий ОИП, нуждаются в актуализации функционального зонирования и в проведении работ по реконструкции.


Выводы

Изучены особенности ландшафтной организации территорий мемориальных комплексов Республики Крым, как памятников культурного наследия. Анализ полученных данных позволяет дать комплексную оценку состояния территорий, соответствия их существующего функционального зонирования и определения нормативов в связи с особенностями экологического и социального характера, месторасположения объектов, тяготения их к городской среде. По приведенным данным конструктивные элементы некоторых мемориальных комплексов имеют неудовлетворительные оценки по состоянию зеленых насаждений, малых архитектурных форм и инженерных сооружений, что связано с отсутствием полноценной системы содержания данных объектов и ухода за зелеными насаждениями. Выявленные недостатки на территориях объектов как памятников культурного наследия позволяет предусмотреть пути их устранения в рамках плановой реконструкции/реставрации, проведением работ по благоустройству и озеленению.

Список литературы

- [1] Коляда Е.М. Мемориально-ландшафтный комплекс как объект истории и художественной культуры. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/memorialno-landshaftnyy-kompleks-kak-obekt-istorii-i-hudozhestvennoy-kultury> (дата обращения 20.01.2022).
- [2] Перечень объектов культурного наследия регионального значения и выявленные объекты культурного наследия. URL: <https://archive-gkokn.rk.gov.ru/structure/321> (дата обращения 09.12.2020).
- [3] Перечень объектов культурного наследия, расположенных на территории города Севастополя. URL: <https://uookn.sev.gov.ru/perechen-obektov-kulturnogo-naslediya/perechen-obektov-kulturnogo-naslediya-federalnogo-znacheniya-raspolozhennykh-na-territorii-goroda-se/> (дата обращения 19.12.2020).
- [4] Горохов В.А. Зеленая природа города: в 2 т. М.: Архитектура-С, 2012. Т. 1. 528 с.
- [5] Теодоронский В.С., Боговая И.О. Объекты ландшафтной архитектуры. М.: МГУЛ, 2003. 300 с.
- [6] Нефедов В.А. Городской ландшафтный дизайн. СПб.: Любавич, 2020. 320 с.
- [7] Саенко Н.Р. Современные трансформации идеи музея под открытым небом // Современные проблемы сервиса и туризма, 2015. Т. 9. № 4. С. 23–30.
- [8] Мемориальный комплекс Крыма. URL: <https://tavrika.su/krym/arkhitektura/memorialnyj-kompleks/> (дата обращения 09.02.2022).
- [9] Аджимушкайские каменоломни: подвиг подземного гарнизона. URL: <https://dostop.ru/krym/adzhimushkajskie-kamenolomni.html> (дата обращения 29.01.2022).
- [10] Мемориальный комплекс «Аджимушкай». URL: <http://kerchmuseum.ru/ru/adzhimushkaj-krepost.html> (дата обращения 29.01.2022).
- [11] Митичкина А.Е. Подходы к оценке и формированию городского ландшафта с позиции их социально-экологической комфортности // Вестник Иркутского государственного технического университета, 2014. № 55. С. 94–99.
- [12] Мемориальное военное кладбище 1853 года. Симферополь. URL: https://jalita.com/guidebook/simferopol/street/cemetery_1853.shtml (дата обращения 09.02.2022).
- [13] Об утверждении охранного обязательства собственника или иного законного владельца объекта культурного наследия регионального значения «Мемориальный комплекс – Военно-историческое кладбище участников Крымской войны 1853–1856 годов и могила генерал-лейтенанта А.К. Абрамова, командира 13-й пехотной дивизии, 1854–1860 годы, 1886 год, 2000-е годы». URL: https://archive-gkokn.rk.gov.ru/file/pub/pub_355586.pdf (дата обращения 09.02.2022).
- [14] Об утверждении охранного обязательства собственника или иного законного владельца объекта культурного наследия регионального значения «Мемориальный комплекс в честь героев Гражданской и Великой Отечественной войн (архитекторы В.А. Петербуржцев, А.В. Степанов, А.А. Попов)», 1917–1920 годы, 1941–1945 годы, 1967 год, 1973 год. URL: https://rk.gov.ru/uploads/gkokn/attachments/documents/d4/1d/8c/d98f00b204e9800998ecf8427e/5ac764b438c854.68403766_297.pdf?1.0.41 (дата обращения 10.02.2022).
- [15] Холм Славы в Ялте. URL: <https://krym-yalta.ru/xolm-slava-yalta.html> (дата обращения 10.02.2022).
- [16] Памятники Крыма. URL: <https://www.krym4you.com/dostoprimechatelnosti/pamyatniki/> (дата обращения 20.01.2022).
- [17] Соколова А.Н. Архитектурно-мемориальный комплекс в пространстве города: причины создания архитектурно-мемориальных комплексов // Технические науки в мире: от теории к практике / Сб. науч. тр. по итогам Междунар. науч.-практ. конф., 2015. № 2. 80 с.
- [18] Хомяков А.И. Мемориально-музейные комплексы: движение в ландшафтную архитектуру // Современная архитектура мира, 2017. № 8. С. 241–261.
- [19] Парфенова А.Е. Особенности ландшафтной организации мемориальных комплексов в городе Севастополе // Всерос. студенческая конф. «Студенческая научная весна», посвященная 60-летию полета Ю.А. Гагарина в космос: сб. тез. докл. М.: Издательский дом «Научная библиотека», 2021. С. 508–509.
- [20] Теодоронский В.С., Парфенова А.Е. Особенности ландшафтной организации мемориальных комплексов г. Севастополя // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 2. С. 50–58. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-2-50-58

Сведения об авторах

Теодоронский Владимир Сергеевич  — доктор с.-х. наук, профессор, академик РАЕН, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), vst01@mail.ru

Парфенова Анастасия Евгеньевна — магистр кафедры «Ландшафтная архитектура и садово-парковое строительство» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), parfyonova.la@yandex.ru

Поступила в редакцию 10.03.2022.

Одобрено после рецензирования 22.03.2022.

Принята к публикации 18.05.2022.

LANDSCAPE ARRANGEMENT OF MEMORIAL COMPLEXES REPUBLIC OF CRIMEA

V.S. Teodoronsky , A.E. Parfyonova

BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia
vst01@mail.ru

This paper examines the features of the landscape organization of memorial complexes of the Republic of Crimea in the districts of Kerch, Yalta, Simferopol, the village of Vilino. The data on the history, modern spatial structure of the territories of the memorial complexes under consideration are given. The characteristics of their functional zoning, data on the state of the structural elements of landscaping and landscaping — green spaces, small architectural forms are given. To assess the condition of the territories of memorial complexes, a quantitative method of relative integral indicator was used.

Keywords: memorial complexes, assessment of territories, functional zoning


Suggested citation: Teodoronsky V.S., Parfyonova A.E. *Osobennosti landshaftnoy organizatsii memorial'nykh kompleksov Respubliki Krym* [Landscape arrangement of memorial complexes Republic of Crimea]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 4, pp. 63–72. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-4-63-72

References

- [1] Kolyada E.M. *Memorial'no-landshaftnyy kompleks kak ob'ekt istorii i khudozhestvennoy kul'tury*. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/memorialno-landshaftnyy-kompleks-kak-obekt-istorii-i-hudozhestvennoy-kulturnoy> (accessed 20.01.2022).
- [2] *Perechen' ob'ektov kul'turnogo naslediya regional'nogo znacheniya i vyyavlennyye ob'ekty kul'turnogo naslediya* [List of cultural heritage sites of regional significance and identified cultural heritage sites]. Available at: <https://archive-gkokn.rk.gov.ru/ru/structure/321> (accessed 09.12.2020).
- [3] *Perechen' ob'ektov kul'turnogo naslediya, raspolozhennykh na territorii goroda Sevastopolya* [List of cultural heritage sites located on the territory of the city of Sevastopol]. Available at: <https://uookn.sev.gov.ru/perechen-obektov-kulturnogo-naslediya/perechen-obektov-kulturnogo-naslediya-federalnogo-znacheniya-raspolozhennykh-na-territorii-goroda-se/> (accessed 19.12.2020).
- [4] Gorokhov V.A. *Zelenaya priroda goroda* [Green nature of the city], in 2 t. Moscow: Arkhitektura-S, 2012, t. 1, 528 p.
- [5] Teodoronskiy V.S., Bogovaya I.O. *Ob'ekty landshaftnoy arkhitektury* [Objects of landscape architecture]. Moscow: MSU, 2003, 300 c.
- [6] Nefedov V.A. *Gorodskoy landshaftnyy dizayn* [Urban landscape design]. St. Petersburg: Lyubavich, 2020, 320 p.
- [7] Saenko N.R. *Sovremennyye transformatsii idei muzeya pod otkrytym небом* [Modern transformations of the idea of an open-air museum]. *Sovremennyye problemy servisa i turizma* [Modern problems of service and tourism], 2015, t. 9, no. 4, pp. 23–30.
- [8] *Memorial'nyy kompleks Kryma* [Memorial complex of Crimea]. Available at: <https://tavrika.su/krym/arkhitektura/memorialnyj-kompleks/> (accessed 09.02.2022).
- [9] *Adzhimushkayskie kamenolomni: podvig podzemnogo garnizona* [Ajimushkai quarries: the feat of the underground garrison]. Available at: <https://dostop.ru/krym/adzhimushkajskie-kamenolomni.html> (accessed 29.01.2022).
- [10] *Memorial'nyy kompleks «Adzhimushkay»* [Memorial complex «Ajimushkai»]. Available at: <http://kerchmuseum.ru/ru/adzhimushkaj-krepost.html> (accessed 29.01.2022).
- [11] Mitichkina A.E. *Podkhody k otsenke i formirovaniyu gorodskogo landshafta s pozitsii ikh sotsial'no-ekologicheskoy komfortnosti* [Approaches to the assessment and formation of the urban landscape from the perspective of their socio-ecological comfort]. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Irkutsk State Technical University], 2014, no. 55, pp. 94–99.
- [12] *Memorial'noe voennoe kladbishche 1853 goda. Simferopol'* [Memorial military cemetery of 1853. Simferopol]. Available at: https://jalita.com/guidebook/simferopol/street/cemetery_1853.shtml (accessed 09.02.2022).
- [13] *Ob utverzhdenii okhrannogo obyazatel'stva sobstvennika ili inogo zakonnogo vladel'tsa ob'ekta kul'turnogo naslediya regional'nogo znacheniya «Memorial'nyy kompleks — Voенно-istoricheskoe kladbishche uchastnikov Krymskoy vojny 1853–1856 godov i mogila general-leytenanta A.K. Abramova, komandira 13-y pekhotnoy divizii, 1854–1860 gody, 1886 god, 2000-e gody»*

- [About the approval of the security obligation of the owner or other legal owner of the cultural heritage object of regional significance «Memorial complex — Military-historical cemetery of the participants of the Crimean War of 1853–1856 and the grave of Lieutenant General A.K. Abramov, commander of the 13th Infantry Division, 1854–1860, 1886, 2000»]. Available at: <https://archive-gkokn.rk.gov.ru> (accessed 09.02.2022).
- [14] *Ob utverzhdenii okhrannogo obyazatel'stva sobstvennika ili inogo zakonnoho vladel'tsa ob'ekta kul'turnogo naslediya regional'nogo znacheniya «Memorial'nyy kompleks v chest' geroev Grazhdanskoj i Velikoj Otechestvennoj voyn (arkhitektory V.A. Peterburzhitsev, A.V. Stepanov, A.A. Popov)», 1917–1920 gody, 1941–1945 gody, 1967 god, 1973 god* [About the approval of the security obligation of the owner or other legal owner of the object of cultural heritage of regional significance «Memorial complex in honor of the heroes of the Civil and Great Patriotic Wars (architects V.A. Petersburzhitsev, A.V. Stepanov, A.A. Popov), 1917–1920, 1941–1945, 1967, 1973»]. Available at: https://rk.gov.ru/uploads/gkokn/attachments/documents/d4/1d/8c/d98f00b204e9800998ecf8427e/5ac764b438c854.68403766_297.pdf?1.0.41 (accessed 10.02.2022)
- [15] *Kholm Slavy v Yalte* [Monuments of the Crimea]. Available at: <https://krym-yalta.ru/xolm-slava-yalta.html> (accessed 10.02.2022).
- [16] *Pamyatniki Kryma* [The Hill of Glory in Yalta]. Available at: <https://krym-yalta.ru/xolm-slava-yalta.html> (accessed 20.01.2022)
- [17] Sokolova A.N. *Arkhitekturno-memorial'nyy kompleks v prostranstve goroda: prichiny sozdaniya arkhitekturno-memorial'nykh kompleksov* [Architectural and memorial complex in the space of the city: the reasons for the creation of architectural and memorial complexes]. *Tekhnicheskie nauki v mire: ot teorii k praktike / Sbornik nauchnykh trudov po itogam mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Technical sciences in the world: from theory to practice/Collection of scientific papers on the results of the International scientific and practical conference], 2015, no. 2, 80 p.
- [18] Khomyakov A.I. *Memorial'no-muzeynye komplekсы: dvizhenie v landshafinuyu arkhitekturu* [Memorial and museum complexes: movement into landscape architecture]. *Sovremennaya arkhitektura mira* [Modern architecture of the world], 2017, no. 8, pp. 241–261.
- [19] Parfenova A.E. *Osobennosti landshaftnoy organizatsii memorial'nykh kompleksov v gorode Sevastopole* [Features of landscape organization of memorial complexes in the city of Sevastopol]. *Vserossiyskaya studencheskaya konferentsiya «Studencheskaya nauchnaya vesna», posvyashchennaya 60-letiyu poleta Yu.A. Gagarina v kosmos: sbornik tezisov dokladov* [All-Russian Student Conference «Student Scientific Spring» dedicated to the 60th anniversary of Yuri Gagarin's flight into space: a collection of abstracts]. Moscow: Izdatel'skiy dom «Nauchnaya biblioteka», 2021, pp. 508–509
- [20] Teodoronsky V.S., Parfyonova A.E. *Osobennosti landshaftnoy organizatsii memorial'nykh kompleksov g. Sevastopolya* [Landscape organization of memorial complexes in Sevastopol]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 2, pp. 50–58. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-2-50-58

Authors' information

Teodoronsky Vladimir Sergeevich  — Dr. Sci. (Agricultural), Professor, Member of the Union of Architects of the Russian Federation, Professor of the Department of Landscape Architecture and Garden and Park Construction of the BMSTU (Mytishchi branch), vst01@mail.ru

Parfyonova Anastasya Evgenievna — Master graduand of of Landscape Architecture and Garden and Park Construction of the BMSTU (Mytishchi branch), parfyonova.la@yandex.ru

Received 10.03.2022.

Approved after review 22.03.2022.

Accepted for publication 18.05.2022.

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

СКВЕР КАК ЛАНДШАФТНО-АРХИТЕКТУРНАЯ ТЕРРИТОРИЯ РЕКРЕАЦИОННО-ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА УССУРИЙСКА ПРИМОРСКОГО КРАЯ

А.С. Коляда¹✉, А.Н. Белов², Н.Г. Розломий¹, С.А. Берсенева¹

¹ФГБОУ ВО «Приморская государственная сельскохозяйственная академия», 692510, г. Уссурийск, пр. Блюхера, д. 44

²ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет» (ДВФУ), 690922, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, д. 10

a.s.pinus@mail.ru

Рассмотрены результаты изучения десяти скверов города Уссурийска (Приморский край), проанализированы их функциональное назначение, состав древесных растений, архитектурные особенности. Значительная часть скверов (50 %) предназначена для семейного отдыха, другие служат для транзитного движения пешеходов и кратковременного отдыха. В насаждениях присутствуют как аборигенные растения, так и интродуценты. Наибольшую площадь имеет Сквер имени 40-летия Победы (3,9 га), наименьшую — Сквер имени 150-летия Уссурийска и сквер на улице Чичерина, 77 (по 0,2 га). Преобладает прямоугольная форма скверов. Предложены меры по ландшафтной трансформации изученных озелененных территорий — расширение флористического состава, перепланировка с целью использования таких участков для семейного отдыха с детьми разных возрастов.

Ключевые слова: сквер, озеленение, дерево, кустарник, город Уссурийск

Ссылка для цитирования: Коляда А.С., Белов А.Н., Розломий Н.Г., Берсенева С.А. Сквер как ландшафтно-архитектурная территория рекреационно-функционального назначения на территории города Уссурийска Приморского края // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 4. С. 73–80.

DOI: 10.18698/2542-1468-2022-4-73-80

Создание комфортной городской среды становится все более острой проблемой как для административных органов власти, так и для ландшафтных дизайнеров. При этом актуальной является задача организации на урбанистических территориях семейного отдыха [1, 2].

Согласно ГОСТ [3], сквер представляет собой небольшую озелененную территорию общего пользования, служащую для кратковременного отдыха и пешеходного транзитного движения. Одной из основных характеристик сквера является его площадь. Согласно Своду правил [4], она должна быть не менее 0,5 га, хотя, для условий реконструкции допускается меньшая площадь. В некоторых работах, в частности, в работе [5] минимальной считается площадь 0,2 га, при этом максимальная площадь ограничивается двумя гектарами или немногим более.

Около 75 % площади сквера должны занимать зеленые насаждения, 25 % — на дорожки, площадки, малые архитектурные формы. В России, согласно ГОСТ [3], озелененные территории подразделяются на три категории: 1) общего пользования; 2) ограниченного пользования; 3) специального назначения.

К озелененным территориями общего пользования относят парки культуры и отдыха (общегородские, районные), детские, спортивные парки

(стадионы), парки тихого отдыха и прогулок, сады жилых районов и микрорайонов, скверы, бульвары, озелененные участки при общегородских торговых и административных центрах, лесопарки и т. д.

Озелененные территории ограниченного пользования — это насаждения в пределах жилых территорий (за исключением садов микрорайонов), территорий при детских и учебных заведениях, спортивных и культурно-просветительных учреждениях, общественных и учреждениях здравоохранения, при клубах, дворцах культуры, при научно-исследовательских учреждениях [8–10]. Озелененные территории ограниченного пользования предназначены для занятий физкультурой и спортом на открытом воздухе, занятий по специальным предметам, для игр, лечебных и профилактических процедур, отдыха в перерывах между работой.

Озелененные территории специального назначения представляют собой насаждения вдоль улиц, магистралей, на площадях, коммунально-складских территориях и в пределах санитарно-защитных зон, ботанические, зоологические сады и парки, выставки, насаждения ветрозащитного, водо- и почвоохранного значения, противопожарные насаждения, насаждения мелиоративного назначения, питомники, цветочно-оранжерейные хозяйства, насаждения кладбищ и крематориев [11–13].

**Характеристика изученных озелененных территорий (скверов)
города Уссурийска Приморского края**
Features of the studied green areas garden squares) in Ussuriisk city, Primorsky Krai

Название	Площадь, га	Форма	Число древесных растений, экз.	Площадь, предназначенная для озеленения, % общей площади
Сквер 40-летия Победы (Суворовский парк)	3,9	Правильная	1705	93,6
Сквер имени В.Г. Асапова (открыт в 2020 г.)	1,6	>>	232	81,3
Сквер имени В.М. Кузменчука (открыт в 2018 г.)	1,3	Неправильная	302	84,7
Сквер на улице Краснознаменной, 80а	1,08	Правильная	197	88,9
Сквер в Доброполье (открыт в 2019 г.)	0,67	>>	146	73,2
Сквер на улице Краснознаменной, 135а	0,53	Неправильная	332	90,5
Сквер на пересечении улиц Некрасова и Комсомольской	0,5	Правильная	396	90
Сквер на улице Ленинградской, 43а	0,42	>>	190	36
Сквер имени 150-летия Уссурийска (открыт в 2016 г.)	0,2	>>	134	30
Сквер на улице Чичерина, 77	0,2	>>	206	65

В 2010–2020 гг. вопрос о назначении озелененных территорий в крупных городах приобрел широкую актуальность, что обусловило разработку новых нормативных актов в области озеленения урбанизированных территорий [16].

В середине XX в. город Уссурийск Приморского края был одним из самых озелененных городов страны. В XXI в. городская застройка Уссурийска характеризуется минимумом или даже полным отсутствием озеленения. Таким образом, значение скверов для города в третьем десятилетии XXI в. значительно возрастает.

Отметим, что в Уссурийске сохранилось довольно много озелененных территорий рекреационного назначения небольшой площади, которые были созданы главным образом в 1960–1970-х гг. с пешеходными дорожками, скамьями для отдыха, в некоторых случаях с малыми архитектурными формами. Однако не все из таких территорий приобрели статус сквера в строгом значении этого термина, поскольку нередко занимают площадь менее 0,2 га. Непосредственно скверов насчитывается немного, не более 10...15 (площадью более 0,2 га).

Цель работы

Цель работы — проведение анализа ландшафтно-архитектурных территорий функционального назначения города Уссурийска Приморского края.

Перед исследованием были поставлены следующие задачи:

- эколого-рекреационная оценка скверов Уссурийска и определение их назначения;
- установление соотношения площадей застройки и зеленых насаждений;

– разработка вариантов ландшафтной перепланировки озелененных территорий общего пользования с позиции расширения возможностей для семейного отдыха.

Объекты исследования

Для исследования были выбраны 10 озелененных рекреационных территорий, относящихся к типу «сквер», которые расположены в различных частях города (таблица).

Латинские названия видов древесных растений, произрастающих на территории исследуемых скверов, приводятся по сводке «Сосудистые растения советского Дальнего Востока» [14].

Материалы и методы

Исследования проводились на селитебной территории традиционным маршрутным методом в течение 2020–2021 гг. В период наблюдения, наряду с выявлением наличия или отсутствия игровых площадок и площади зеленых насаждений, проводились наблюдения посещаемости скверов с точки зрения возможности для семейного отдыха. Всего изучено 10 скверов различной площади, располагающихся в разных местах города (рис. 1).

Результаты и обсуждение

Изученные скверы Уссурийска [5] имеют различную площадь (см. таблицу). Наибольшей площадью обладает сквер 40-летия Победы, что превышает норму, определенную для таких территорий, хотя этой площади недостаточно, чтобы считать сквер парком. Сквер 40-летия Победы известен жителям города и как Суворовский парк (рис. 2).



Рис. 1. Схема расположения скверов Уссурийска: 1 — Сквер 40-летия Победы; 2 — Сквер имени В.Г. Асапова; 3 — Сквер имени В.М. Кузменчука; 4 — Сквер на улице Краснознаменной (80а); 5 — сквер в Доброполье; 6 — сквер на улице Краснознаменной (135а); 7 — сквер на пересечении улиц Некрасова и Комсомольской; 8 — сквер на улице Ленинградской (43а); 9 — Сквер имени 150-летия Уссурийска; 10 — Сквер на улице Чичерина (77)

Fig. 1. The public gardens in Ussuriysk: 1 — Garden Square of the 40th anniversary of the Victory; 2 — Garden Square named after V.G. Asapova; 3 — Garden Square named after V.M. Kuzmenchuk; 4 — Garden Square in Krasnoznamennaya Street (80a); 5 — Garden square in Dobropolye; 6 — Garden square in Krasnoznamennaya street (135a); 7 — Garden square at the intersection of Nekrasov and Komsomolskaya streets; 8 — Garden square in Leningradskaaya street (43a); 9 — Garden Square named after the 150th anniversary of Ussuriysk; 10 — Garden Square in Chicherin Street (77)

В насаждениях сквера по числу видов преобладают аборигенные растения. Среди них наибольшим числом экземпляров представлены ильм низкий (*Ulmus pumila* L.), береза плосколистная (*Betula platyphylla* Sukacz.) и ясень маньчжурский (*Fraxinus mandshurica* Rupr.). Интродуцентов насчитывается пять видов: клен ясенелистный (*A. Negundo* L.), пузыреплодник калинолистный (*Physocarpus opulifolia* (L.) Maxim.), вишенка войлочная (*Microcerasus tomentosa* (Thunb.) Eremin et Jushev) и др., однако по числу экземпляров они превосходят аборигенные виды.

Следует отметить, что отдаленность Сквера 40-летия Победы от центра города делает ее малопосещаемой. Вследствие недостаточного ухода все пешеходные дорожки в нем грунтовые, древесные растения нередко изросшиеся и достигают больших размеров (до 20 м в высоту и до 50 см и более по диаметру ствола). Более поздние посадки растений нередко осуществлялись под пологом крупных деревьев, что замедлило их рост. Архитектурное оформление имеется лишь в северо-западной части сквера и представлено тропинками, радиально расходящимися от памят-



Рис. 2. Сквер 40-летия Победы (Суворовский парк)
Fig. 2. Garden Square of the 40th anniversary of the Victory (Suvorov Park)

ника воинам, погибшим в боях под Мишань-Фу; по краям тропинок произрастает пузыреплодник калинолистный (*Physocarpus opulifolius* (L.) Maxim.), сильно изросшийся из-за отсутствия ухода. Исследуемая территория требует проведения мероприятий, связанных с ландшафтной



Рис. 3. Сквер имени 150-летия Уссурийска
Fig. 3. Garden Square named after the 150th anniversary of Ussuriysk



Рис. 4. Сквер имени Кузменчука
Fig. 4. Garden Square named after Kuzmenchuk

перепланировкой с учетом расширения возможностей для семейного отдыха [15–19].

Наименьшая площадь у Сквера имени 150-летия Уссурийска (открыт в 2016 г.) и сквера на ул. Чичерина, 77 (открыт в 1960-х годах) (рис. 3).

Первый из них является примером озелененных территорий, созданных с 2017 по 2022 гг. и предназначенных главным образом для семейного отдыха, с детскими и спортивными площадками, развитой системой пешеходных дорожек. Однако территория, предусмотренная для озеленения, либо незначительна, либо на ней отсутствуют посадки, и она занята газоном.

Основу посадок древесных растений в Сквере имени 150-летия Уссурийска составляют ясень маньчжурский (*Fraxinus mandshurica* Rupr.) и клен ясенелистный (*A. negundo* L.). Единично или немногочисленными экземплярами представлены липа маньчжурская (*T. mandshurica* Rupr.), сосна обыкновенная (*P. sylvestris* L.) и свидина белая (*Swida alba* (L.) Opiz).

Исключение составляет Сквер имени Кузменчука (рис. 4), в котором при строительстве были оставлены древесные растения, присутствовавшие на этой территории ранее.

Среди них преобладают интродуценты, в частности тополь белый (*Populus alba* L.), в бордюрах используются пузыреплодник калинолистный (*Physocarpus opulifolius* (L.) Maxim.) и таволга Бумальда (*Spiraea x bumalda* Burv.). Аборигенные виды представлены немногочисленными экземплярами как широко используемыми в озеленении города, так и достаточно редкими — шиповником даурским (*Rosa davurica* Pall.), чубушником тонколистным (*Philadelphus tenuifolius* Rupr. et Maxim.), орехом маньчжурским (*Juglans mandshurica* Maxim.) и др. Относительно многочисленны из аборигенных видов береза плосколистная (*Betula platyphylla* Sukacz.) и груша уссурийская (*Pyrus ussuriensis* Maxim.).

В то же время в скверах, открытых в 1960–1970-х гг., имеются лишь пешеходные дорожки и небольшое количество скамей для отдыха. Основу таких скверов составляют древесные растения первичных посадок: ильм низкий (*Ulmus pumila* L.), береза плосколистная (*Betula platyphylla* Sukaczev), пузыреплодник калинолистный (*Physocarpus opulifolius* (L.) Maxim.) (как бордюрное растение), клен негундо (*Acer negundo* L.), достигшие в большинстве случаев крупных размеров.

Форма изученных скверов преимущественно прямоугольная, поскольку чаще всего они размещаются вдоль автодорог на придорожной территории, реже на перекрестках улиц. Только два — Сквер имени Кузменчука и сквер на Краснознаменной, 135а — характеризуются неправильной формой, что обусловлено расположением дорог и близкорасположенных жилых зданий.

Число экземпляров древесных растений, произрастающих в изученных скверах, зависит от их площади и форм посадок. Так, например, в небольшом сквере на ул. Чичерина, 77 высажено больше древесных растений, чем в более крупном сквере на Краснознаменной (80а). Это связано с использованием большого числа экземпляров ильма низкого (*Ulmus pumila* L.), высаженного в качестве бордюрного озеленения.

Особенностью сквера на ул. Чичерина, 77 является преобладание в посадках груши уссурийской (*Pyrus ussuriensis* Maxim.). Из других древесных растений можно отметить липу амурскую (*Tilia amurensis* Rupr.), рябину обыкновенную (*Sorbus aucuparia* L.), клен ясенелистный (*A. negundo* L.).

Следует отметить явное отсутствие общего замысла при формировании озелененных участков города Уссурийска. Нередко деревья высаживаются лишь по периметру таких участков,

а внутренняя часть остается без насаждений, либо засаживается хаотично, в некоторых случаях — рядами, что часто не соответствует выработанным нормам и правилам [20–23].

Отметим также следующую закономерность: если на территории сквера имеются игровые зоны, то площадь, занятая зелеными насаждениями, относительно невысокая, и наоборот, большая площадь насаждений почти не оставляет места для игровых зон.

В настоящее время ландшафты скверов оживляются различными садовыми скульптурами, они оживляют пейзаж, но недостаточно эффективно. Территорию даже малых скверов могут значительно улучшить такие элементы ландшафтного дизайна, как альпийские горки, мелкие стоячие водоемы, искусственные ручейки, мостики, беседки, детские домики, качели.

К недостаткам игровых зон в скверах можно отнести и недостаточное разнообразие игрового оборудования, и отсутствие информационных табличек с правилами пользования.

Анализ изученных озелененных территорий города Уссурийска Приморского края позволил предложить мероприятия по архитектурной перепланировке скверов с учетом их функционального назначения. Так, например, предлагается программа по созданию одиночных посадок бархата амурского (*Phellodendron amurense* Rupr.), групповых посадок аралии высокой (*Aralia elata* (Miq.) Seem.), свободноягодника колючего (*Eleutherococcus senticosus* (Rupr. et Maxim.) Maxim.) березы плосколистной (*Betula platyphylla* Sukaczew), лещины разнолистной (*Corylus heterophylla* Fisch. ex Bess.) и других видов древесных растений, по формированию зеленых лабиринтов, посадке кустарников на определенных площадках для игровой деятельности (вейгела ранняя (*Weigela praecox* L.H. Bailey), жимолость раннецветущая (*Lonicera praeflorens* Batal), барбарис Тунберга (*Berberis thunbergii* DC.), бузина корейская (*Sambucus coreana* (Nakai) Kom. et Aliss.)). Рекомендован список растений, позволяющих с учетом в местных почвенно-климатических условий формировать зеленые насаждения из быстрорастущих пород в относительно короткие сроки: лиственница Гмелина (*Larix gmelinii* (Rupr.) Kuzen.), береза плосколистная (*Betula platyphylla* Sukaczew), бересклет бородавчатый (*Euonymus verrucosus* Scop.), боярышник перистонадрезный (*Crataegus pinnatifida* Bunge), рябина амурская (*Sorbus amurensis* Koehne), рябинник рябинолистный (*Sorbaria sorbifolia* (L.) A. Br.) и др. По нашему мнению, в озеленении улиц и придомовых территорий допустимо использование интродуцентов, но для формирования скверов целесообразно использовать преимущественно аборигенные растения.

Выводы

Изученные скверы города Уссурийска различаются по ряду показателей (общая площадь, форма, площадь, занятая насаждениями древесных растений, общее число экземпляров древесных растений).

Наибольшие значения данных показателей имеет Сквер 40-летия Победы. Минимальные значения имеют: по общей площади Сквер имени 150-летия Уссурийска и сквер на улице Чичерина, 77; по площади, занятой насаждениями и по числу экземпляров древесных растений Сквер имени 150-летия Уссурийска. Преобладает прямоугольная форма территории скверов, что связано с их расположением вдоль городских дорог.

Отмечается низкое флористическое разнообразие используемых в озеленении растений, а также использование в большинстве случаев лишь линейных посадок деревьев и кустарников.


На основании полученных результатов рекомендованы древесные растения для увеличения разнообразия арборифлоры скверов, декоративные формы насаждений (групповые посадки, зеленые лабиринты, бордюры и др.), малые архитектурные формы. Это будет способствовать оптимальному выполнению скверами Уссурийска своей рекреационной роли.

Список литературы

- [1] Ильяев С.С. Городская среда обитания как объект управленческой деятельности в средних городах России: дис. ... канд. социол. наук: 22.00.08. Белгород, 1999. 185 с.
- [2] Казаков А.М. Особенности развития российских городов на современном этапе урбанизации: дис... канд. социол. наук: 22.00.04. Москва, 2004. 151 с.
- [3] ГОСТ 28329–89 Озеленение городов. Термины и определения. М.: Издательство стандартов, 1990. 25 с.
- [4] СП 42.13330 СНИП 2.07.01–89*. Градостроительство, планировка и застройка городских поселений и сельских поселений. М., 2016. 101 с.
- [5] Теодоронский В.С., Боговая И.О. Объекты ландшафтной архитектуры. М.: МГУЛ, 2006. 330 с.
- [6] Авдеева Е.В., Вагнер Е.А., Надемянов В.Ф., Шмарин Н.В. Городские скверы — их роль в озеленении городов (на примере исторического развития, обеспеченности и состояния скверов г. Красноярск) // Хвойные бореальной зоны, 2016. Т. XXXIV. № 1–2. С. 7–15.
- [7] Абсалямова С.Л., Климачева Т.В. Благоустройство и озеленение территории сквера Победы г. Ижевск // Научные инновации в развитии отраслей АПК: Материалы Междунар. науч.-практ. конф., Ижевск, 18–21 февраля 2020 г., в 3 т. Ижевск: Изд-во Ижевской ГСХА, 2020. С. 107–110.
- [8] Прохорова М.И. Городской сквер. Главное управление по планировке и застройке городов и поселков Комитета по делам архитектуры при Совете министров СССР. М.: Государственное архитектурное издательство, 1946. 60 с.
- [9] Зотова Н.А., Блонская Л.Н. Ландшафтно-экологическая оценка скверов Кировского района г. Уфы //

- Актуальные проблемы лесного комплекса, 2010. № 25. С. 145–148.
- [10] Горобченко И.Б., Карташова Н.П. Особенности исследований территорий скверов // Наука и практика: сб. статей I Междунар. науч.-практ. конф., Ставрополь, 14 сентября 2017 г. Ставрополь: Логос, 2017. С. 32–36.
- [11] Жукова Е.О., Козловский Б.Л., Паршин В.Г. Оценка состояния зеленых насаждений парков, садов и скверов города Ростова-на-Дону // Вестник ИрГСХА, 2011. № 44–5. С. 34–40.
- [12] Санникова Н.В., Плясунова А.А. Элементы системы озеленения сквера юристов г. Тюмени // Актуальные проблемы природообустройства, водопользования, агрохимии, почвоведения и экологии: Материалы Всерос. (Нац.) конф., посвященной 90-летию гидро-мелиоративного факультета ОмСХИ (факультета водохозяйственного строительства ОмГАУ), 55-летию факультета агрохимии и почвоведения, 105-летию Мезенцева Варфоломея Семеновича, Омск, 18 апреля 2019 г. Омск: Изд-во ОмГАУ, 2019. С. 216–224.
- [13] Мельникова И.М., Мельникова О.М., Скок А.В. Анализ состояния и перспективы использования хвойных насаждений в озеленении населенных мест // Интеграционные взаимодействия молодых ученых в развитии аграрной науки. Материалы Нац. науч.-практ. конф. молодых ученых, Ижевск, 4–5 декабря 2019 г. Ижевск: Изд-во Ижевской ГСХА, 2020. С. 288–292.
- [14] Сосудистые растения советского Дальнего Востока / под ред. С.С. Харкевича. Л.: Наука, 1985–1989. Т. 1–4. СПб.: Наука, 1991–1996. Т. 5–8. Владивосток: Даль-наука, 2006. Т. 9.
- [15] Таран С.С. Ландшафтное проектирование. Новочеркасск: Изд-во НИМИ Донской ГАУ, 2014. 206 с.
- [16] Карташова Н.П. Архитектурно-планировочная композиция сквера // Единый всероссийский научный вестник, 2016. № 3–2. С. 10–12.
- [17] Чернышов М.П., Арефьев Ю.Ф., Титов Е.В., Беспаленко О.Н., Дорофеева В.Д., Кругляк В.В., Пярых А.М. Хвойные породы в озеленении Центральной России. М.: Колос, 2007. 328 с.
- [18] Чукаева Н.В., Клетикова Л.В. Состояние древостоя сквера «Елочки» г. Шуя // Успехи современного естествознания, 2010. № 7. С. 30–31.
- [19] Колесниченко Ю.А., Храпач В.В. Озеленение как способ создания комфортной среды на примере проекта сквера в малом населенном пункте // Новости науки в АПК, 2019. № 1–2(12). С. 132–137.
- [20] Основные положения проектирования генплана городского сквера. Казань: Изд-во КГАСУ, 2016. 25 с.
- [21] Потапова Е.В. Классификация озелененных территорий поселений // Успехи современного естествознания: Академия Естествознания, 2016. № 9. С. 72–76.
- [22] Приказ Минрегиона РФ от 28.12.2010 N 820. СНиП 2.07.01-89. «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений». URL: <https://docs.cntd.ru/document/902268769> (дата обращения 21.07.2021).
- [23] Приказ Минрегиона от 27 декабря 2011 г. N 613 «Об утверждении Методических рекомендаций по разработке норм и правил по благоустройству территорий муниципальных образований». URL: <https://docs.cntd.ru/document/902322479> (дата обращения 21.07.2021).

Сведения об авторах

Коляда Александр Степанович  — канд. биол. наук, доцент, доцент Института землеустройства и агротехнологий, ФГБОУ ВО «Приморская государственная сельскохозяйственная академия», a.s.pinus@mail.ru

Белов Александр Никитович — канд. с.-х. наук, доцент, доцент Института наук о жизни и биомедицине (Школа), департамент Фармации и фармакологии, ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет» (ДВФУ), belov.an@dvfu.ru

Розломий Наталья Геннадьевна — канд. биол. наук, доцент, доцент Института лесного и лесопаркового хозяйства, ФГБОУ ВО «Приморская государственная сельскохозяйственная академия», boss.shino@mail.ru

Берсенева Светлана Анатольевна — канд. биол. наук, доцент, проректор по учебной работе ФГБОУ ВО «Приморская государственная сельскохозяйственная академия», svshatal@mail.ru

Поступила в редакцию 14.12.2021.

Одобрено после рецензирования 22.02.2022.

Принята к публикации 13.05.2022.

GARDEN SQUARE AS LANDSCAPE-ARCHITECTURAL TERRITORY OF RECREATIONAL AND FUNCTIONAL PURPOSE IN CITY OF USSURIISK, PRIMORSKY KRAI

A.S. Kolyada¹✉, A.N. Belov², N.G. Rozlomy¹, S.A. Berseneva¹

¹Primorsky State Agricultural Academy, 44, Blyukhera av., 692510, Ussuriysk, Russia

²Far Eastern Federal University (FEFU), 10, Ajax, 690922, Vladivostok, Russky Island, Russia

a.s.pinus@mail.ru

The study results of ten garden squares in the city of Ussuriysk (Primorsky Krai) are discussed in the paper. Their functional purpose, composition of woody plants, architectural features are analyzed. A significant part of the garden squares (50 %) is intended for family recreation, others are used for pedestrians and short-term recreation. The plantings contain both native and introduced plants. The Square named after the 40th anniversary of the Victory has the largest area (3,9 hectares), the smallest one is the Square named after the 150th anniversary of Ussuriysk and the square on Chicherin Street, 77 (0,2 hectares each). Rectangular garden squares predominate. Measures are proposed for the landscape transformation of the studied green areas such as the expansion of the floristic composition, redevelopment in order to use such areas for family recreation with children of different ages.

Keywords: public garden, landscaping, tree, shrub, Ussuriysk city


Suggested citation: Kolyada A.S., Belov A.N., Rozlomy N.G., Berseneva S.A. *Skver kak landshaftno-arkhitekturnaya territoriya rekreatsionno-funktsional'nogo naznacheniya na territorii goroda Ussuriyska Primorskogo kraia* [Garden square as landscape-architectural territory of recreational and functional purpose in city of Ussuriysk, Primorsky Krai]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 4, pp. 73–80. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-4-73-80

References

- [1] Il'yaev S.S. *Gorodskaya sreda obitaniya kak ob'ekt upravlencheskoy deyatelnosti v srednikh gorodakh Rossii* [Urban environment as an object of management activity in medium-sized cities of Russia]. Dis. Cand. Sci. (Sociolog.), 22.00.08. Belgorod, 1999, 185 p.
- [2] Kazakov A.M. *Osobennosti razvitiya rossiyskikh gorodov na sovremennom etape urbanizatsii* [Features of the development of Russian cities at the present stage of urbanization]. Dis. Cand. Sci. (Sociolog.), 22.00.04. Moscow, 2004, 151 p.
- [3] GOST 28329–89. *Ozelenenie gorodov. Terminy i opredeleniya*. [Greening of cities. Terms and Definitions]. Moscow: Standards Publishing House, 1990, 25 p.
- [4] SP 42.13330 SNIP 2.07.01–89*. *Gradostroitel'stvo, planirovka i zastroyka gorodskikh poselenij i sel'skikh poselenij. Izdanie oficial'noe*. [Urban planning, planning and development of urban settlements and rural settlements. Official edition]. Moscow, 2016, 101 p.
- [5] Teodoronskiy V.S., Bogovaya I.O. *Ob'ekty landshaftnoy arkhitektury* [Objects of landscape architecture]. Moscow: MSFU, 2006, 330 p.
- [6] Avdeeva E.V., Vagner E.A., Nademyanov V.F., Shmarin N.V. *Gorodskie skvery — ikh rol' v ozelenenii gorodov (na primere istoricheskogo razvitiya, obespechennosti i sostoyaniya skverov g. Krasnoyarska)* [City squares — their role in urban greening (on the example of historical development, security and state of public gardens in Krasnoyarsk)]. *Khvoynye boreal'noy zony [Coniferous boreal zones]*. 2016, v. XXXIV, no. 1–2, pp. 7–15.
- [7] Absalyamova S.L., Klimacheva T.V. *Blagoustroystvo i ozelenenie territorii skvera Pobedy g. Izhevsk* [Improvement and landscaping of the territory of the Victory park in Izhevsk]. *Nauchnye innovatsii v razvitiy otrasley APK: mater. Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. [Scientific innovations in the development of agricultural sectors. Mater. International scientific-practical. confer.]*. Izhevsk, February 18–21, 2020. In 3 vol. Izhevsk: Izhevsk State Agricultural Academy, 2020, pp. 107–110.
- [8] Prokhorova M.I. *Gorodskoy skver. Glavnoe upravlenie po planirovke i zastroyke gorodov i poselkov Komiteta po delam arkhitektury pri Sovete ministrov SSSR* [City square. Main Directorate for the Planning and Development of Cities and Towns of the Committee for Architecture Affairs under the Council of Ministers of the USSR]. Moscow: State Architectural Publishing House, 1946, 60 p.
- [9] Zotova N.A., Blonskaya L.N. *Landshaftno-ekologicheskaya otsenka skverov Kirovskogo rayona g. Ufy* [Landscape-ecological assessment of public gardens of the Kirovsky district of Ufa]. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa [Actual problems of the forest complex]*, 2010, no. 25, pp. 145–148.
- [10] Gorobchenko I.B., Kartashova N.P. *Osobennosti issledovaniy territoriy skverov* [Features of the study of the territories of public gardens]. *Nauka i praktika: sbornik statey I Mezhdunarodnoy nauch.-prakt. konf. [Science and Practice. Collection of articles of the I International scientific-practical. confer.]*. Stavropol, September 14, 2017. Stavropol: Logos, 2017, pp. 32–36.
- [11] Zhukova E.O., Kozlovskiy B.L., Parshin V.G. *Otsenka sostoyaniya zelenykh nasazhdeniy parkov, sadov i skverov goroda Rostov-na-Donu* [Assessment of the state of green spaces in parks, gardens and squares of the city of Rostov-on-Don]. *Vestnik IrGSKhA [Bulletin of the IrGSKhA]*, 2011, no. 44–5, pp. 34–40.
- [12] Sannikova N.V., Plyasunova A.A. *Elementy sistemy ozeleneniya skvera yuristov g. Tyumeni* [Elements of the greening system of the lawyers' park in Tyumen]. *Aktual'nye problemy prirodoobustroystva, vodopol'zovaniya, agrokhimii, pochvovedeniya i ekologii: mater. Vserossiyskoy (Natsional'noy) konf., posvyashchennoy 90-letiyu gidromeliorativnogo fakul'teta OmSKhI (fakul'teta vodokhozyaystvennogo stroitel'stva OmGAU), 55-letiyu fakul'teta agrokhimii i pochvovedeniya, 105-letiyu Mezentseva V.S.* [Actual problems of environmental management, water use, agrochemistry, soil science and ecology. All-Russian (National) conference dedicated to the 90th anniversary of the irrigation and drainage faculty of the Omsk Agricultural

- Institute (the faculty of water management of the OmGAU), the 55th anniversary of the Faculty of Agrochemistry and Soil Science, the 105th anniversary of Professor, Doctor of Geography, Honored Scientist of the RSFSR Mezentsev V.S.], Omsk, April 18 2019. Omsk, 2019, pp. 216–224.
- [13] Mel'nikova I.M., Mel'nikova O.M., Skok A.V. *Analiz sostoyaniya i perspektivy ispol'zovaniya khvoynnykh nasazhdeniy v ozelenenii naseleennykh mest* [Analysis of the state and prospects for the use of coniferous plantations in landscaping populated areas]. Integratsionnye vzaimodeystviya molodykh uchenykh v razvitii agrarnoy nauki. Mater. Natsional'noy nauch.-prakt. konferentsii molodykh uchenykh [Integration interactions of young scientists in the development of agricultural science. Mater. National scientific and practical. conference of young scientists]. Izhevsk, December 4–5, 2019. Izhevsk: Izhevsk State Agricultural Academy Publishing House, 2020, pp. 288–292.
- [14] *Sosudistye rasteniya sovetskogo Dal'nego Vostoka* [Vascular Plants of the Soviet Far East]. Ed. S.S. Harkevich. Leningrad: Science, 1985–1989, t. 1–4. Saint Petersburg: Nauka, 1991–1996, t. 5–8. Vladivostok: Dalnauka, 2006, t. 9.
- [15] Taran S.S. *Landshaftnoe proektirovanie* [Landscape design]. Novocheboksaysk: Novocheboksaysk state melior. acad., 2014, 206 p.
- [16] Kartashova N.P. *Arkhitekturno-planirovochnaya kompozitsiya skvera* [Architectural and planning composition of the park]. *Edinyy vserossiyskiy nauchnyy vestnik* [United All-Russian Scientific Bulletin], 2016, no. 3–2, pp. 10–12.
- [17] Chernyshov M.P., Aref'ev Yu.F., Titov E.V., Bespalenko O.N., Dorofeeva V.D., Kruglyak V.V., Pyatykh A.M. *Khvoynnye porody v ozelenenii Tsentral'noy Rossii* [Conifers in landscaping in Central Russia]. Moscow: Kolos, 2007, 328 p.
- [18] Chukaeva N.V., Kletikova L.V. *Sostoyanie drevostoya skvera «Elochki» g. Shuya* [The state of the stand of the Yelochki public garden in Shuya] *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Successes of modern natural science], 2010, no. 7, pp. 30–31.
- [19] Kolesnichenko Yu.A., Khrapach V.V. *Ozelenenie, kak sposob sozdaniya komfortnoy sredy, na primere proekta skvera v malom naseleennom punkte* [Landscaping as a way to create a comfortable environment, on the example of a park project in a small settlement]. *Novosti nauki v APK* [Science news in the agro-industrial complex], 2019, no. 1–2 (12), pp. 132–137.
- [20] *Osnovnye polozheniya proektirovaniya genplana gorodskogo skvera* [The main provisions of the design of the general plan of the city square]. Kazan: KGASU, 2016, 25 p.
- [21] Potapova E.V. *Klassifikatsiya ozelenennykh territoriy poseleniy* [Classification of green areas of settlements]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Successes of modern natural science], 2016, no. 9, pp. 72–76.
- [22] *Prikaz Minregiona RF ot 28.12.2010 N 820. SNIp 2.07.01-89. «Gradostroitel'stvo. Planirovka i zastroyka gorodskikh i sel'skikh poseleniy»* [Order of the Ministry of Regional Development of the Russian Federation of December 28, 2010 N 820. SNIp 2.07.01-89. «Urban planning. Planning and development of urban and rural settlements»]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/902268769> (accessed 21.07.2021).
- [23] *Prikaz Minregiona ot 27 dekabrya 2011 g. N 613 «Ob utverzhdenii Metodicheskikh rekomendatsiy po razrabotke norm i pravil po blagoustroystvu territoriy munitsipal'nykh obrazovaniy»* [Order of the Ministry of Regional Development of December 27, 2011 N 613 «On the approval of Methodological recommendations for the development of norms and rules for the improvement of municipal territories»]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/902322479> (accessed 21.07.2021).

Authors' information

Kolyada Aleksandr Stepanovich  — Cand. Sci. (Biology), Associate Professor of the Institute of Land Management and Agricultural Technologies, Primorsky State Agricultural Academy, a.s.pinus@mail.ru

Belov Aleksandr Nikitovich — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor at the Institute of Life Sciences and Biomedicine (School), Department of Pharmacy and Pharmacology, Far Eastern Federal University, belov.an@dvfu.ru

Rozlomiya Natal'ya Gennad'evna — Cand. Sci. (Biology), Associate Professor of the Institute of Forestry and Forest-Park Economy, Primorsky State Agricultural Academy

Berseneva Svetlana Anatol'evna — Cand. Sci. (Biology), Associate Professor, Vice-Rector for Academic Affairs of the Primorsky State Agricultural Academy, svshatal@mail.ru

Received 14.12.2021.

Approved after review 22.02.2022.

Accepted for publication 13.05.2022.

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

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ ГРУППЫ БЕЗБОРОДЫЕ ИРИСЫ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ В ЛАНДШАФТНЫХ КОМПОЗИЦИЯХ (В СТИЛЕ NATUR GARDEN)

Н.А. Мамаева¹✉, Я.В. Кузнецова²

¹ФГБУН «Главный ботанический сад имени Н.В. Цицина Российской академии наук» (ГБС РАН), 127276, Москва, Ботаническая ул., д. 4

²РФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева», 127550, Москва, Тимирязевская ул., д. 49

mamaeva_n@list.ru

Приведены результаты сравнительного анализа морфологических признаков представителей группы Безбородые ирисы в целях оценки возможностей их применения в ландшафтных композициях в стиле Natur garden как вероятной альтернативы *Iris sibirica* L. и генетически близкого к нему — *I. sanguinea* Hornem. Сформирована и изучена модельная выборка образцов, исследованы их количественные и качественные признаки. Все образцы отнесены к ирисам с так называемым природным обликом. По признакам вегетативной сферы в качестве возможной альтернативы *Iris sibirica* L. и его белоцветковой формы для ландшафтных композиций правомерно рекомендовать такие культивары, как ‘Seven Seas’, ‘Steve Verner’, ‘Cambridge’ и ‘Bigminki Hori’, из которых оптимальным целесообразно считать сорт ‘Bigminki Hori’.

Ключевые слова: группа Безбородые ирисы, морфологические признаки, сравнительный анализ, Natur garden, замещение, природные виды, культиварные формы

Ссылка для цитирования: Мамаева Н.А., Кузнецова Я.В. Морфологические признаки представителей группы Безбородые ирисы с точки зрения возможностей их применения в ландшафтных композициях (в стиле Natur garden) // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 4. С. 81–91.
DOI: 10.18698/2542-1468-2022-4-81-91

Направление Natur garden в ландшафтном дизайне сформировалось в Германии примерно в середине XX в. как разновидность английского пейзажного сада. Для композиций в природном стиле характерны минимальное антропогенное видоизменение территории, акцент на преимущественное сохранение изначальных природных ландшафтов и/или как можно более полная имитация структуры и функций естественных ценозов [1–3]. В настоящее время стиль Natur garden активно развивается и является одним из наиболее популярных и востребованных направлений ландшафтного дизайна [4].

Представители рода *Iris* L. традиционно относятся к группе широко распространенных травянистых декоративных многолетников и характеризуются широким спектром практического применения, преимущественно в озеленении. Однако в садах природного стиля не целесообразно применение растений, которым необходим высокий уровень агротехнического обслуживания и применение препаратов химической защиты [5].

Практически все представители (вне зависимости от происхождения) подрода *Iris* L. восприимчивы к бактериозу и фузариозу. У сортов

Iris x hybrida hort. в неблагоприятных погодных условиях без применения химических средств защиты растений развивается инфекция, даже может возникнуть эпифитотия и ухудшение фитосанитарного состояния посадок продлиться на несколько лет. Кроме того они часто являются источником инфекции [6, 7]. Поэтому практически все Бородатые ирисы непригодны к использованию в садах природного стиля.

Учитывая все требования и особенности ландшафтных композиций в стиле Natur garden, можно утверждать, что в составе рода *Iris* L. одной из наиболее перспективных для использования можно считать группу Безбородых ирисов (особенно представителей садового класса Сибирские ирисы).

Безбородые ирисы, имеющие все вышеперечисленные признаки, характеризуются следующими преимуществами [8–10]:

– являются представителями местной природной флоры, а культурные формы, как правило, хорошо адаптированы к почвенно-климатическим условиям средней полосы России;

– обычно отличаются высокой зимостойкостью;

– как природные, так и культиварные формы обычно устойчивы к инфекционным заболеваниям;



Рис. 1. *Iris sibirica* f. alba
Fig. 1. *Iris sibirica* f. alba

– старые и некоторые современные сорта имеют так называемый природный облик — фенотипически достаточно близки к природным видам;

– практически все сорта, созданные на ранних этапах селекции культуры органично сочетаются с природными видами — представителями других ботанических родов и имеют широкий спектр растений-компаньонов;

– в целом отличаются высоким адаптационным потенциалом;

– многие толерантны к экстенсивному типу культивирования и не требуют высокого уровня агротехнического обслуживания;

– как правило, имеют хорошо разрастающуюся куртину и крупные листья, сохраняют декоративный вид до и после периода цветения;

– не требуют сложного процесса размножения и частых пересадок.

Цель работы

Цель работы — сравнительный анализ морфологических признаков представителей группы Безбородые ирисы для оценки возможностей их использования в составе ландшафтных композиций в стиле *Natur garden* в качестве альтернативы вида *Iris sibirica* L., а также генетически и фенотипически близкому к нему виду *I. sanguinea* Hornem.

В ходе исследований реализованы две задачи:

1) формирование — на основе результатов скрининга состава коллекции ирисов лаборатории декоративных растений Главного ботанического сада РАН — модельной выборки образцов, характеризующихся принадлежностью к так называемому природному облику;

2) отбор — на основе сходства фенотипических признаков — сортов-представителей группы Безбородые ирисы, перспективных в качестве альтернативы *Iris sibirica* L. и *I. sanguinea* Hornem. в ландшафтных композициях природного стиля.

Материалы и методы

В качестве объектов исследования были использованы вид природной флоры — *Iris sibirica* L., садовая форма природного происхождения — *I. sibirica* f. alba (рис. 1) и восемь сортов группы Безбородые ирисы, созданных с использованием генетического материала *Iris sibirica* L., представляющих такие классы, как Сибирские и Водолюбивые ирисы.

Объекты исследования выбраны на основе комплексного учета хозяйственно ценных признаков, обуславливающих высокую устойчивость растений в культуре, и декоративных признаков. В категорию хозяйственно ценных признаков вошли следующие параметры: быстрые темпы разрастания куртины, отсутствие периодичности цветения в сочетании с коэффициентом орнаментальности выше 0,5, высокая зимостойкость, относительно низкая восприимчивость к инфекционным заболеваниям. В категории декоративных характеристик основным критерием отбора культурных форм было отсутствие в фенотипе признаков, полученных, очевидно, в ходе целенаправленного искусственного отбора (махровый тип цветка, сложная цветовая гамма околоцветника, очень крупный цветок, неветвящийся цветонос, очень большие линейные размеры растений, часто свойственные полиплоидным формам). Также принимали во внимание степень снижения декоративности растений при повреждении вредоносными насекомыми и микроорганизмами.

Формирование выборки изучаемых характеристик объектов исследования выполнено на основе методики проведения испытаний корневищных ирисов на отличимость, однородность и стабильность (ООС) [11]. Учтены и изучены 14 количественных и 27 качественных признаков.

Как способ обработки данных по количественным признакам использован метод дисперсионного анализа [12]. В качестве стандартов использованы *Iris sibirica* L. (st 1) и *Iris sibirica* f. alba (st 2) (см. рис. 1). Фиксация колористических характеристик проведена с применением стандартизованной цветовой шкалы RHS Colour Chart.

Результаты исследования

При проектировании цветников, имитирующих природные ценозы, по комплексу хозяйственно ценных и декоративных признаков одними из наиболее перспективных являются представители подсерии *Sibiricae*, в том числе *Iris sibirica* L. и родственные ему виды. Но виды *I. sibirica* L. и *I. sanguinea* Hornem. относятся к редким и исчезающим [13]. Вид *I. sibirica* L. включен в Красные книги шести государств: РФ, Беларуси, Украины, Эстонии, Армении, Литвы [14–19]. В настоящее время, согласно действующим изменениям официального перечня живых организмов, внесенных в Красную книгу Российской Федерации, *I. sibirica* L. и *I. sanguinea* Hornem. в его состав не входят [14]. Однако в

разные временные периоды оба вида указаны в региональных Красных книгах: *I. sibirica* L. — в составе 44 субъектов (областей, краев, республик и автономного округа); *I. sanguinea* Hornem. — в шести территориальных единицах [20–21]. Поэтому их использование в составе ландшафтных композиций потенциально может быть сопряжено с юридическими сложностями [22]. Одним из приемлемых решений проблемы является использование в ландшафтных композициях стиля *Natur garden* культивируемых форм, фенотипически близких к соответствующим природным видам. Для *I. sibirica* L. и *I. sanguinea* Hornem. — перспективны прежде всего старые сорта, созданные на основе этих видов.

Для решения этой проблемы в рамках настоящего исследования осуществлено расширенное

Т а б л и ц а 1

Вариабельность некоторых количественных характеристик исследуемых представителей группы Безбородые ирисы в составе коллекции лаборатории декоративных растений ГБС РАН
Variability of some quantitative characteristics of the studied representatives of the beardless irises group in the collection of the laboratory of ornamental plants MBG RAS

Признак	<i>Iris sibirica</i> (st 1)	<i>Iris sibirica</i> f. <i>alba</i> (st 2)	<i>Iris sibirica</i> 'Snow Crest'	<i>Iris sibirica</i> 'Seven Seas'	<i>Iris sibirica</i> 'Sky-rocket'	<i>Iris sibirica</i> 'Cambridge'	<i>Iris x sibirica</i> 'Bigminki Hori'	<i>Iris sibirica</i> 'Steve Verner'	<i>Iris x sibirica</i> 'Butterfly Fountain'	<i>Iris sibirica</i> x <i>Iris pseudacorus</i> 'Ally Oops'
Высота растения, см	136,6	98,5	81,5	95,0	75,6	74,0	81,9	79,7	76,8	87,7
Число первичных ветвей на цветоносе, шт.	1	1	0	1	0	0	1	1	2	1
Число цветков на цветоносе, шт.	4	7	2	3	2	2	3	4	6	4
Толщина цветоноса, см	0,7	0,6	0,7	0,9	1,0	1,0	0,7	0,7	0,6	0,8
Длина цветка, см	6,5	6,4	8,6	9,5	8,9	5,9	5,6	5,7	4,0	6,2
Ширина цветка, см	6,9	5,5	8,5	9,4	10,0	9,4	5,8	6,1	6,2	8,7
Длина наружного околоцветника, см	5,2	4,9	6,4	7,2	7,2	5,9	5,0	5,4	4,8	6,4
Ширина наружного околоцветника, см	3,4	2,5	3,5	4,6	5,2	4,5	2,8	2,9	3,4	5,0
Длина внутреннего околоцветника, см	4,4	4,4	5,8	6,1	6,7	5,2	3,7	3,8	2,8	3,5
Ширина внутреннего околоцветника, см	2,4	1,6	2,1	2,5	3,1	2,6	1,2	1,4	1,4	1,4
Длина основания (ноготка) наружного околоцветника, см	2,1	2,0	2,5	3,2	2,8	2,4	2,1	2,4	2,2	2,5
Длина основания (ноготка) внутреннего околоцветника, см	0,7	1,3	1,5	1,2	1,8	1,6	0,7	1,2	0,5	1,0
Длина листа, см	76,7	73,1	59,3	73,1	60,1	75,0	75,0	80,3	–	88,1
Ширина листа, см	0,8	0,6	0,9	1,0	0,9	1,1	1,1	0,9	–	1,4

описание модельных объектов исследования с использованием выборки признаков, сформированной на основе методики испытания корневищных ирисов на ООС [11].

Анализируя зафиксированные количественные и качественные характеристики, можно отметить отсутствие у изучаемых образцов характеристик с явными признаками целенаправленного искусственного отбора, которые более типичны для большинства сортов современного этапа развития селекции.

Рассматривая количественные признаки (табл. 1), отметим относительно небольшую ширину листовых пластинок. Исключение составляет *Iris sibirica* f. *alba* (st 2) с очень узкой листовой пластинкой, характерной для некоторых видов секции *Sibiricae* и части старых сортов.

Также показано наличие у большинства образцов относительно небольшой толщины цветоноса у основания, не характерной для современных (часто полиплоидных) культиваров. Зафиксированы в целом небольшие размеры цветка и его составляющих, редко встречающиеся у представителей современных сортоотборов. Например, у новых сортов типичные размеры цветка, как правило, не бывают меньше 15,0 см. [23–26].

Такие признаки, как высота растения и длина листа у сортов и интродуцированных образцов природного происхождения в составе современного ассортимента могут значительно варьировать — от доминирования видовых форм (особенно по сравнению с низкорослыми культиварами, например, сортоотбора ‘Торопыжка’) до значительно более крупных линейных размеров у сортов с крупным габитусом (‘Рио-Рита’, ‘Эдуард Регель’, ‘Белый Всадник’), особенно по сравнению с низкорослыми формами *Iris sanguinea* Hornem. и *I. sibirica* f. *alba*.

В составе исследуемой выборки *Iris* L. по высоте растения реализовано доминирование видовой формы. У *Iris sibirica* L. (st 1) — 136,6 см, а максимальное значение (среди сортов) у культивара гибридного происхождения ‘Ally Oops’ — 87,7 см (см. табл. 1). По длине листа установлена иная тенденция. Наибольший абсолютный показатель зафиксирован у современного сорта, полученного на основе отдаленной гибридизации *Iris sibirica* × *Iris pseudacorus* ‘Ally Oops’ (88,1 см), а у образцов природного происхождения — 76,7 см у *Iris sibirica* L. (st 1) и 73,1 см у *Iris sibirica* f. *alba* (st 2).

По линейным размерам основания как внутреннего, так и наружного околоцветника четкой тенденции микроэволюционных изменений не прослеживается (см. табл. 1). Согласно некоторым данным [27–30] крупными размерами основания характеризуются как старые, так и современные сорта. Короткое основание отмечено

у сортов, созданных и на раннем, и на современном этапе селекции. Поэтому с высокой долей вероятности правомерно предположить отсутствие искусственного отбора по этому признаку.

По качественным признакам в составе исследуемой выборки отмечено наличие сходной с характерной для количественных признаков тенденции. Изучаемым образцам присущи фенотипические особенности так называемого природного облика (табл. 2): простой (в основном, однотонный) тип окраски околоцветника; прямостоячая форма листа; свисающее/промежуточное расположение нижних долей околоцветника и сильно варьирующее пространственное положение внутренних долей околоцветника (обычно, вследствие их различной плотности); форма внутренних долей околоцветника, часто обратноточечная-вытянутая, т. е. приближенная к природной [27, 31].

У цветков сортов так называемого природного облика обычно отсутствует выраженная бархатистость и часто глянецвитость долей околоцветника. Типично отсутствие гофрировки краев долей околоцветника, но распространено наличие выраженного жилкования (как у *Iris sibirica* L.). Не является характерным наличие таких элементов узора цветка, как ярко выраженные полосы, штрихи и мазки, образующие хорошо заметный рисунок, присутствие на долях околоцветника крупных пятен и акцентной каймы. Не встречается и махровый тип цветка: стандартным является классический шестилепестный вариант, так называемый ирисовый тип строения околоцветника [28, 32].

Колористические характеристики цветков сортов так называемого природного облика могут существенно варьировать: от белых до фиолетовых. При этом цвет, как правило, не насыщенный, отсутствуют яркие тона. Белый обычно имеет сероватый оттенок, в отличие от современных белоцветковых сортов, где оттенок обычно кипенно-белый [23–26].

Таким образом, по совокупности изученных количественных и качественных признаков все сорта в составе модельной выборки правомерно отнести к культиварам с природным обликом. Их можно использовать для сравнительной оценки вариативности морфологических признаков в целях отбора образцов, потенциально перспективных для использования в озеленении в стиле *Natur garden*.

Отметим, что одной из задач настоящей работы был поиск сортов, перспективных для использования в качестве альтернативы *Iris sibirica* L. и фенотипически близких к нему видов в садах природного стиля. Согласно особенностям стиля *Natur garden* были выявлены культивары с отсутствием достоверных статистических различий

Т а б л и ц а 2

Вариабельность некоторых качественных характеристик исследуемых представителей группы Безбородые ирисы в составе коллекции лаборатории декоративных растений ГБС РАН

Variability of some qualitative characteristics of the studied representatives of the beardless irises group in the collection of the laboratory of ornamental plants MBG RAS

Признак	<i>Iris sibirica</i> (st 1)	<i>Iris sibirica</i> f. <i>alba</i> (st 2)	<i>Iris sibirica</i> 'Snow Crest'	<i>Iris sibirica</i> 'Seven Seas'	<i>Iris sibirica</i> 'Sky-rocket'	<i>Iris sibirica</i> 'Cam-bridge'	<i>Iris x sibtosa</i> 'Big-minki Hori'	<i>Iris sibirica</i> 'Steve Verner'	<i>Iris x sibtosa</i> 'Butterfly Fountain'	<i>Iris sibirica x Iris pseudacorus</i> 'Ally Oops'
Тип окраски цветка	1	1	2	1	1	1	1	1	1	3
Аромат цветка	2	1	1	1	1	2	2	1	3	2
Развитие пыльников	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Вид листа	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Наличие у листа воскового налета	-	-	-	-	+	+	-	+	-	+
Наличие антоциановой окраски у основания листа	-	-	+	+	-	-	+	+	+	-
Наружные доли околоцветника										
Положение	1	1	1	2	1	3	1	2	3	1
Форма	1	2	1	1	3	1	1	4	1	1
Окраска долей	94 B	NN155C	N89A	N89B	NN155D	94 D	N88B	93 A	NN155C	NN155B
Окраска плечиков	164 B	20 A	7 C	154 C	3 A	4 A	21 D	164 C	15 B	13 A
Наличие пятна/ каймы	1		1			1				
Окраска пятна	NN155D	-	NN155D	-	-	NN155D	-	-	-	-
Узор	1	-	1	1	-	1	1	1	1	1
Плотность узора	1	-	1	1	-	1	1	1	1	2
Бархатистость	-	-	+	+	-	-	+	-	-	-
Глянцевитость	-	+	-	-	+	-	-	-	+	+
Гофрированность	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-
Внутренние доли околоцветника										
Положение	1	2	3	3	1	2	3	3	2	1
Форма	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1
Окраска долей	94 B	NN155 C	N89A	N89B	NN155 C	94 D	N88B	93 A	NN155 C	91 B
Окраска плечиков	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Наличие пятна/ каймы	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Узор	1	-	-	-	-	-	1	1	-	1
Плотность узора	1	-	-	-	-	-	1	1	-	1
Бархатистость	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Глянцевитость	-	+	-	-	+	-	-	-	-	+
Гофрированность	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
<p><i>Примечание. Тип окраски цветка:</i> 1 — одноцветный, однотонный; 2 — одноцветный, двухтонный; 3 — двуцветный. <i>Аромат цветка:</i> 1 — отсутствует; 2 — слабый; 3 — средний. <i>Развитие пыльников:</i> 1 — нормальное. <i>Вид листа:</i> 1 — прямостоячий. <i>Наружные доли околоцветника. Положение:</i> 1 — свисающие; 2 — промежуточные; 3 — широкораскидистые. <i>Форма:</i> 1 — округлые; 2 — обратно-ланцентные, вытянутые; 3 — обратноййцевидные; 4 — яйцевидные. <i>Наличие пятна/ каймы:</i> 1 — пятно; 2 — кайма. <i>Узор:</i> 1 — жилки. <i>Плотность узора:</i> 1 — редкая; 2 — средняя. <i>Внутренние доли околоцветника. Положение:</i> 1 — направлены вверх; 2 — промежуточное; 3 — широкораскидистые. <i>Форма:</i> 1 — обратно-ланцентные, вытянутые; 2 — обратно-яйцевидные. <i>Узор:</i> 1 — жилки. <i>Плотность узора:</i> 1 — редкая. «-» — отсутствие, «+» — наличие признака.</p>										

Вариабельность морфологических характеристик у исследованных представителей группы Безбородые ирисы

Variability of morphological characteristics in the studied representatives of the beardless irises group

Сорт	Высота растения, см	Число цветков на цветоносе, шт.	Длина цветка, см	Ширина цветка, см	Длина листа, см	Ширина листа, см
<i>Iris sibirica</i> (st 1)	136,6	4	6,5	6,9	76,66	0,82
<i>Iris sibirica</i> f. <i>alba</i> (st 2)	98,5	7	6,4 ^I	5,5	73,08 ^I	0,66
<i>Iris sibirica</i> ‘Snow Crest’	81,5	2	8,5	8,5	59,33	0,88 ^I
<i>Iris sibirica</i> ‘Seven Seas’	95,0 ^{II}	3	9,5	9,4	73,10 ^{I, II}	0,96
<i>Iris sibirica</i> ‘Skyrocket’	75,6	2	8,9	10,0	60,10	0,90
<i>Iris sibirica</i> ‘Cambridge’	74,0	2	5,9	9,4	75,00 ^{I, II}	1,10
<i>Iris sibirica</i> ‘Steve Verner’	81,9	3	5,5	5,8 ^{II}	74,98 ^{I, II}	1,11
<i>Iris x sibtosa</i> ‘Bigminki Hori’	79,7	3	5,7	6,1	80,25 ^I	0,86 ^I
<i>Iris x sibtosa</i> ‘Butterfly Fountan’	76,8	6	4,0	6,2	–	–
<i>Iris sibirica x Iris</i> ‘Alley Oops’	87,7	4 ^I	6,2 ^{I, II}	8,7	88,14	1,35
Результаты статистической обработки экспериментальных данных						
Fф(st 1)/Fф(st 2)	302,8/58,8	171,1/311,8	307/288,7	182,5/233,3	24,1/16,8	42,2/60,966
F ₀₅	1,99	1,99	1,99	1,99	2,65	2,65
HCP ₀₅ (st 1)/(st 2)	4,8/4,9	0,5/0,5	0,34/0,38	0,36/0,35	5,98/6,49	0,06/0,06
Источники вариации(p _{in} , %)						
Фактор (сорт)	93	91	94	89	92	95
Случайные	7	9	6	11	8	5
<i>Примечание.</i> I — отсутствие у образца достоверных различий со st 1, II — отсутствие у образца достоверных различий со st 2.						

(по исследуемым количественным характеристикам) с указанным природным видом и его белоцветковой формой. Оптимальным вариантом является соответствие количественных показателей по всем исследованным признакам. Решение этой задачи востребовано, потому что *Iris sibirica* L. и *I. sanguinea* Hornem. внесены в региональные Красные книги России.

Принадлежностью ирисов к группе цветочно-декоративных растений обусловлена актуальность изучения характеристик образцов выборки по признакам, связанным с генеративной фазой онтогенеза. Также определенную перспективу в рамках задач настоящей работы представляет изучение количественных признаков вегетативной сферы, поскольку фаза цветения у ирисов занимает относительно короткий период по сравнению с длительностью сезона вегетации. Поэтому в рамках модельной выборки представителей рода *Iris* L. изучена изменчивость шести количественных признаков, имеющих значение, на наш взгляд, при выборе сортов для использования в озеленении (табл. 3).

В аспекте применения ландшафтного стиля Natur garden авторами принята следующая схема их ранжирования (по мере снижения значимости признака):

– размеры листьев (поскольку период цветения у ирисов относительно короткий и декоративных эффект во многом достигается за счет визуального восприятия вегетативной части растений);

– высота цветоноса (один из основополагающих признаков для любой культуры, предполагающей наличие генеративной фазы развития растений);

– размеры цветков (важны для визуального восприятия колористических характеристик растений в составе цветочной композиции);

– число цветков на цветоносе (один из факторов, детерминирующих длительность фазы цветения и, соответственно, периода максимальной декоративности ирисов в ландшафтной композиции).

По результатам проведенных исследований у всех исследованных образцов по всем изученным количественным признакам в структуре общей

изменчивости доминирует влияние генотипа, а доля случайных факторов незначительна и составляет от 5 до 11 % (см. табл. 3). Поэтому правомерно утверждать, что фенотипические характеристики растений при их использовании в составе цветочных композиций, будут зависеть от выбранного сорта.

В ходе настоящего исследования отсутствие существенных на 5%-м уровне значимости статистических различий установлено между *Iris sibirica* L. и сортом 'Ally Oops' по двум признакам: количеству цветков на цветоносе и длине цветка (см. табл. 3). Однако в принятой системе ранжирования признаков, значимых для использования в ландшафтных композициях природного стиля, они не занимают доминирующих позиций. Кроме того, несмотря на принадлежность к сортам природного облика, 'Ally Oops' (рис. 2) по комплексу фенотипических признаков в целом достаточно сильно отличается от *Iris sibirica* L. Это может негативно повлиять на общее восприятие цветочной композиции при использовании указанного сорта в качестве альтернативы означенному виду ириса.

Отсутствие существенных на 5%-м уровне значимости различий также выявлено между *Iris sibirica* f. alba и тремя сортами по трем признакам генеративной сферы: высоте растений — с 'Seven Seas', длине цветка — с 'Ally Oops' и ширине цветка — со 'Steve Verner' (см. табл. 3). При этом наиболее важной характеристикой (из трех выше указанных) в аспекте использования сортов для озеленения в стиле Nature Garden является высота цветоноса. Поэтому наиболее перспективным из группы указанных образцов можно считать сорт 'Seven Seas' (рис. 3). Учитывая, что выделенные признаки единичные и, несмотря на результаты дисперсионного анализа, следует признать, что при учете комплекса количественных характеристик ни один из упомянутых выше сортов не может быть рекомендован для замещения *Iris sibirica* f. alba в составе ландшафтных композиций.

Несмотря на то, что ирисы в целом не относятся к декоративнолиственным культурам, многие представители группы Безбородых ирисов характеризуются плотными куртинами с сохранением формы «куста», высокой облиственностью и отсутствием существенного инфицирования листовыми инфекциями. Это позволяет поддерживать относительно декоративный вид как посадок в целом, так и отдельных растений вне фазы цветения, что вполне можно эффективно использовать при проектировании ландшафтных композиций [6, 8, 29]. Поэтому в рамках настоящей работы целесообразным также является изучение вариативности количественных признаков вегетативной сферы Безбородых ирисов.



Рис. 2. Сорт 'Ally Oops'
Fig. 2. Variety 'Ally Oops'



Рис. 3. Сорт 'Seven Seas'
Fig. 3. Variety 'Seven Seas'

В ходе исследований длины листа установлено отсутствие достоверных на 5%-м уровне значимости различий между *Iris sibirica* L. и четырьмя сортами: 'Seven Seas', 'Steve Verner', 'Cambridge', 'Bigminki Hori', а также между *Iris sibirica* f. alba и тремя сортами: 'Steve Verner', 'Seven Seas', 'Cambridge' (см. табл. 3). Различий также не обнаружено и между образцами, принятыми в качестве стандартов.

По ширине листа также выявлена группа образцов с несущественными на 5%-м уровне значимости различиями. Это *Iris sibirica* L. и сорта 'Snow Crest' и 'Bigminki Hori'.



Рис. 4. Сорт 'Bigminki Hori'
Fig. 4. Variety 'Bigminki Hori'

Таким образом, согласно результатам исследования, сходными морфометрическими характеристиками листьев (по длине и/или ширине листовой пластинки), существенно не отличающимися от природных форм обладают пять сортов: 'Seven Seas', 'Steve Verner', 'Cambridge', 'Snow Crest' и 'Bigminki Hori'. Отметим, что они (за исключением сорта 'Cambridge') также незначительно отличаются от *Iris sibirica* L. и *Iris sibirica* f. *alba* и по форме куртины. Соответственно, при проектировании цветочных композиций в стиле Natur garden указанные культивары (кроме 'Snow Crest') правомерно рекомендовать в качестве возможной альтернативы *Iris sibirica* L. и его белоцветковой формы, поскольку до и после прохождения фазы цветения визуальное восприятие этих растений в целом не будет отличаться от характеристик природных форм.

Обобщая результаты проведенных исследований по комплексу количественных и качественных признаков, а также с учетом визуального восприятия растений в целом, можно отметить, что в составе изученной выборки оптимальным для замещения *Iris sibirica* L. и близкого ему вида *I. sanguinea* Hornem. в цветниках природного стиля правомерно считать сорт 'Bigminki Hori' (рис. 4).

Выводы

1. Выявлено, что у всех исследованных представителей группы Безбородых ирисов по всем изученным количественным признакам в структуре общей изменчивости доминирует влияние генотипа, варьирующее в пределах от 89 до 95 %.

2. Установлено, что *Iris sibirica* L. и сорт 'Ally Oops' не отличаются на 5%-м уровне значимости по количеству цветков на цветоносе и длине цветка. Достоверных статистических различий также не выявлено между *Iris sibirica* f. *alba* и тремя сортами: 'Seven Seas', 'Ally Oops' и 'Steve Verner' по высоте растений, длине и ширине цветка соответственно.

3. Выявлено наличие групп образцов с отсутствием существенных на 5%-м уровне значимости различий по признакам вегетативной сферы. По длине листовой пластинки достоверно не отличаются *Iris sibirica* L. и сорта 'Seven Seas', 'Steve Verner', 'Cambridge', 'Bigminki Hori', а также *Iris sibirica* f. *alba* и 'Steve Verner', 'Seven Seas', 'Cambridge'. По ширине листовой пластинки не найдено различий между *Iris sibirica* L., 'Snow Crest' и 'Bigminki Hori'.

4. Установлено, что оптимальным вариантом замещения *Iris sibirica* L. в ландшафтных композициях природного стиля правомерно считать сорт 'Bigminki Hori'.

Работа выполнена в рамках ГЗ ГБС РАН (№ 18-118021490111-5).

Список литературы

- [1] Gerritsen H., Oudolf P. Dream plants for the Natural Garden. UK: Frances Lincoln, 2013, 144 p.
- [2] Blanchan N. Nature's garden. BoD-Books on Demand, 2019, 366 p.
- [3] Прознич И.И. Стиль Naturgarden — мода или естественное состояние сада? URL: https://cemicvet.mediasole.ru/stil_naturgarden_moda_ili_estestvennoe_sostoyanie_sada. (дата обращения 02.11.2021).
- [4] Стиль натургарден в ландшафтном дизайне: мода на естественность, 2021. URL: <https://landshaftnydesign.ru/stil-naturgarden-v-landshaftnom-dizajne-moda-na-estestvennost/> (дата обращения 18.11.2021).
- [5] Ильясова Н.И., Довлетярова Э.А. Современный ландшафтный дизайн. М.: РУДН, 2008. 113 с.
- [6] Степанова И.Ф. Ирисы в садовом пейзаже // Цветоводство, 1991. № 4. С. 14–16.
- [7] Родионенко Г.И. Ирисы. СПб.: Агропромиздат, Диамант, 2002. 192 с.
- [8] Бурова Э.А. Ирис сибирский и его культурные формы для озеленения республики // Интродукция растений и оптимизация окружающей среды средствами озеленения. Минск: Наука и техника, 1977. С. 67–70.
- [9] Долганова З.В. Особенности развития безбородых ирисов в условиях лесостепи Алтайского края // Вестник АГАУ, 2019. № 3 (173). С. 89–94.
- [10] Степанова И.Ф. Ирисы. М.: Олма-Пресс, 2003. 174 с.

- [11] Методика проведения испытаний на отличимость, однородность и стабильность. Ирис (корневищный) (*Iris* L.). 21.11.2011 г. № 12-06/71. URL: <http://gossort.com> (дата обращения 27.05.2020).
- [12] Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
- [13] Алексеева Н.Б. Виды рода *Iris* L. во флоре России. Проблемы охраны в природе и интродукции: автореф. дис. ... канд. биол. наук. СПб, БИИ, 2005. 20 с.
- [14] Красная книга России, 2021. URL: <https://redbookrf.ru> (дата обращения 19.03.2021).
- [15] Красная книга Республики Беларусь, 2014. URL: <https://ecportal.info/krasnaya-kniga-belorussii/> (дата обращения 17.09.2020).
- [16] Красная книга Украины, 2009. URL: <https://redbook-ua.org/ru/plants/region> (дата обращения 17.09.2020).
- [17] Красная книга Эстонии, 2002. URL: <http://www.zbi.ee/ripaane/english/index.html> (дата обращения 15.09.2020).
- [18] Красная книга Республики Армения, 2011. URL: <https://www.plantarium.ru/page/redbook/id/56.html> (дата обращения 21.09.2020).
- [19] Красная книга Литвы, 2020. URL: <https://google-info.org/6416635/1/krasnaya-kniga-litvy.html> (дата обращения 29.09.2020).
- [20] *Iris sibirica* L. Плантариум: открытый онлайн атлас-определитель растений и лишайников России и сопредельных стран, 2007–2020. URL: <https://www.plantarium.ru/page/view/item/20818.html>. (дата обращения 17.01.2020, 28.04.2021).
- [21] *Iris sanguinea* Hornem. Плантариум: открытый онлайн атлас-определитель растений и лишайников России и сопредельных стран, 2007–2020. URL: <https://www.plantarium.ru/page/view/item/20811.html> (дата обращения 17.01.2020, 28.04.2021).
- [22] Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 N 7-ФЗ, 2002. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/ (дата обращения 15.09.2020, 05.11.2021).
- [23] Российское Общество Ириса, 2021. URL: http://ruiris.ru/Sorta_SIB_Zar_1.html (дата обращения 04.01.2021).
- [24] Российское Общество Ириса, 2021. URL: http://ruiris.ru/Sorta_SIB_Otech_1.html (дата обращения 04.01.2021).
- [25] Российское Общество Ириса, 2021. URL: http://ruiris.ru/Sorta_OT_Otech_1.html (дата обращения 04.01.2021).
- [26] Российское Общество Ириса, 2021. URL: http://ruiris.ru/Sorta_OT_Zar_1.html (дата обращения 04.01.2021).
- [27] Матвеева Т.С. Полиплоидные декоративные растения. Л.: Наука, 1980. 300 с.
- [28] Родионенко Г.И. Ирисы. Л.: Агропроиздат, Ленинградское отделение, 1988. 156 с.
- [29] Долганова З.В. Оценка сортов ириса класса «Сибирские» разного географического происхождения в условиях лесостепи юга Западной Сибири // Вестник Алтайского государственного аграрного университета, 2016. № 6 (140). С. 55–60.
- [30] Сорокопудова О.А., Артюхова А.В. Характеристика видов и сортов ирисов коллекции Всероссийского селекционно-технологического института садоводства и питомниководства // Биология растений и садоводство: теория, инновации, 2019. № 148. С. 235–245.
- [31] Рахимова А.Ф. Интродукция и селекция ирисов в лесостепной зоне Южного Урала: дис. ... канд. биол. наук. Уфа, 2000. 187 с.
- [32] Austin C. Irises. A gardener's encyclopedia. Portland, Oregon: Timber Press, 2005, 339 p.

Сведения об авторах

Мамаева Наталья Анатольевна✉ — канд. биол. наук, ст. науч. сотр. ФГБУН «Главный ботанический сад имени Н.В. Цицина РАН», matmaeva_n@list.ru

Кузнецова Яна Вячеславовна — магистрант, РФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева», kitik.v.nebe@gmail.com

Поступила в редакцию 13.12.2021.

Одобрено после рецензирования 24.02.2022.

Принята к публикации 23.05.2022.

MORPHOLOGICAL FEATURES OF BEARDLESS IRIS GROUP AND THEIR APPLICATION IN LANDSCAPE COMPOSITIONS (IN NATUR GARDEN STYLE)

N.A. Mamaeva^{1✉}, Ya.V. Kuznetsova²

¹The N.V. Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences, 4, Botanicheskaya st., 127276, Moscow, Russia

²Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazeva, 49, Timiryazevskaya st., 127550, Moscow, Russia

mamaeva_n@list.ru

The comparative study reveals the morphological features of the Beardless irises group in order to assess the possibilities of their application in Nature garden landscape compositions as a possible alternative to two natural species — *Iris sibirica* L. and *I. sanguinea* Hornem. The Red Data Books can potentially be fraught with legal complexities. The formation and study of a model sample, formed on the basis of the irises collection in the laboratory of ornamental plants of the Main Botanical Garden, has been carried out. It was revealed that according to the complex of the studied quantitative and qualitative characteristics (14 and 27 names, respectively), all samples — a species of natural flora — *Iris sibirica*, a garden form of natural origin — *I. sibirica* f. *alba* and 8 varieties of the Beardless irises group can be rightfully attributed to irises with «natural appearance». Based on a comprehensive assessment of the quantitative traits of the generative sphere, it was found that none of the studied varieties can be recommended for replacing *Iris sibirica*. On the basis of the vegetative sphere, it is reasonable to recommend four cultivars as a possible alternative to *Iris sibirica* and its white-flowered form: ‘Seven Seas’, ‘Steve Verner’, ‘Cambridge’ and ‘Bigminki Hori’. At the same time, the ‘Bigminki Hori’ variety can be considered as the optimal substitution option — according to the complex of studied phenotypic traits, as well as taking into account the visual perception of plants as a whole.

Keywords: group Beardless irises, biomorphological characteristics, comparative analysis, Nature garden, replacement of natural species with cultigenic forms

Suggested citation: Mamaeva N.A., Kuznetsova Ya.V. *Morfologicheskie priznaki predstaviteley gruppy Bezborodye irisy s tochki zreniya vozmozhnostey ikh primeneniya v landshaftnykh kompozitsiyakh (v stile Natur garden)* [Morphological features of beardless iris group and their application in landscape compositions (in Natur Garden style)]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 4, pp. 81–91. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-4-81-91


References

- [1] Gerritsen H., Oudolf P. *Dream plants for the Natural Garden*. UK: Frances Lincoln, 2013, 144 p.
- [2] Blanchan N. *Nature’s garden*. BoD-Books on Demand, 2019, 366 p.
- [3] Proznich I.I. *Stil’ Naturgarden — moda ili yestestvennoye sostoyaniye sada?* [Naturgarden style — fashion or natural state of the garden?]. Available at: https://cemicvet.mediasole.ru/stil_naturgarden__moda_ili_estestvennoe_sostoyanie_sada. (accessed 02.11.2021).
- [4] *Stil’ naturgarden v landshaftnom dizayne: moda na yestestvennost’* [Naturgarden style in landscape design: fashion for naturalness], 2021. Available at: <https://landshaftniydesign.ru/stil-naturgarden-v-landshaftnom-dizayne-moda-na-estestvennost/> (accessed 18.11.2021).
- [5] Il’yasova N.I., Dovletyarova E.A. *Sovremennyy landshaftnyy dizayn: uchebnoye posobiye* [Modern landscape design: a tutorial]. Moscow: RUDN, 2008, 113 p.
- [6] Stepanova I.F. *Irisy v sadovom peyzazhe* [Irises in a garden landscape]. *Tsvetovodstvo* [Floriculture], 1991, no. 4, pp. 14–16.
- [7] Rodionenko G.I. *Irisy* [Irises]. St. Petersburg: Agropromizdat, Diamant, 2002, 192 p.
- [8] Burova E.A. *Iris sibirskiy i yego kul’turnyye formy dlya ozeleneniya respubliki* [Siberian iris and its cultural forms for landscaping the republic]. *Introduktsiya rasteniy i optimizatsiya okruzhayushchey sredy sredstvami ozeleneniya*. Sbornik statey [Plant introduction and environmental optimization by means of landscaping. Digest of articles]. Minsk: Science and Technology, 1977, pp. 67–70.
- [9] Dolganova Z.V. *Osobennosti razvitiya bezborodykh irisov v usloviyakh lesostepi Altayskogo kraya* [Features of the development of beardless irises in the forest-steppe conditions of the Altai Territory]. *Vestnik AGAU* [AGAU Bulletin], 2019, no. 3 (173), pp. 89–94.
- [10] Stepanova I.F. *Irisy* [Irises]. Moscow: Olma-Press, 2003, 174 p.
- [11] *Metodika provedeniya ispytaniy na otlichimost’, odnorodnost’ i stabil’nost’. Iris (kornevishchnyy) (Iris L.)* [Test procedure for distinctness, uniformity and stability. Iris (rhizome) (Iris L.)]. 21.11.2011 r. № 12-06/71. Available at: <http://gossort.com> (accessed 27.05.2020).
- [12] Dospikhov B.A. *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul’tatov issledovaniy)* [Methods of field experience (with the basics of statistical processing of research results)]. Moscow: Agropromizdat, 1985, 351 p.
- [13] Alekseyeva N.B. *Vidy roda Iris L. vo flore Rossii. Problemy okhrany v prirode i introduktsii* [Views of the genus *Iris* L. in Floore Russia. Problems of protection in nature and introduction]. *Dis. Sci. Cand. (Biol.)*. St. Petersburg, Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences, 2005, 20 p.
- [14] *Krasnaya kniga Rossii* [Red Data Book of Russia], 2021. Available at: <https://redbookrf.ru> (accessed 19.03.2021).
- [15] *Krasnaya kniga Respubliki Belarus’* [Red Book of the Republic of Belarus], 2014. Available at: <https://ecoportal.info/krasnaya-kniga-belorusii/> (accessed 17.09.2020).

- [17] *Krasnaya kniga Estonii* [Estonian Red Data Book], 2002. Available at: <http://www.zbi.ee/punane/english/index.html> (accessed 15.09.2020).
- [18] *Krasnaya kniga Respubliki Armeniya* [Red Book of the Republic of Armenia], 2011. Available at: <https://www.plantarium.ru/page/redbook/id/56.html> (accessed 21.09.2020).
- [19] *Krasnaya kniga Litvy* [Red Book of Lithuania], 2020. Available at: <https://google-info.org/6416635/1/krasnaya-kniga-litvy.html> (accessed 29.09.2020).
- [20] *Iris sibirica* L. *Plantarium: otkrytyy onlayn atlas-opredelitel' rasteniy i lishaynikov Rossii i sopredel'nykh stran* [Plantarium: an open online atlas-guide of plants and lichens in Russia and neighboring countries], 2007–2020. Available at: <https://www.plantarium.ru/page/view/item/20818.html>. (accessed 17.01.2020, 28.04.2021).
- [21] *Iris sanguinea* Hornem. *Plantarium: otkrytyy onlayn atlas-opredelitel' rasteniy i lishaynikov Rossii i sopredel'nykh stran* [Plantarium: an open online atlas-guide of plants and lichens in Russia and neighboring countries], 2007–2020. Available at: <https://www.plantarium.ru/page/view/item/20818.html>. (accessed 17.01.2020, 28.04.2021).
- [22] *Federal'nyy zakon «Ob okhrane okruzhayushchey sredy» ot 10.01.2002 N 7-FZ (poslednyaya redaktsiya)* [Federal Law «On Environmental Protection» dated 10.01.2002 N 7-FZ (last edition)], 2002. Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/ (accessed 15.09.2020, 5.11.2021).
- [23] *Rossiyskoye Obshchestvo Irida* [Russian Iris Society], 2021. Available at: http://ruiris.ru/Sorta_SIB_Zar_1.html (accessed 04.01.2021).
- [24] *Rossiyskoye Obshchestvo Irida* [Russian Iris Society], 2021. Available at: http://ruiris.ru/Sorta_SIB_Otech_1.html (accessed 04.01.2021).
- [25] *Rossiyskoye Obshchestvo Irida* [Russian Iris Society], 2021. Available at: http://ruiris.ru/Sorta_OT_Otech_1.html (accessed 04.01.2021).
- [26] *Rossiyskoye Obshchestvo Irida* [Russian Iris Society], 2021. Available at: http://ruiris.ru/Sorta_OT_Zar_1.html (accessed 04.01.2021).
- [27] Matveyeva T.S. *Poliploidnyye dekorativnyye rasteniya* [Polyploid ornamental plants]. Leningrad Nauka, 1980. 300 p.
- [28] Rodionenko G.I. *Irisy* [Irises]. St. Petersburg: VO Agropromizdat, Leningrad branch, 1988. 156 p.
- [29] *Otsenka sortov irisa klassa «Sibirskiy» raznogo geograficheskogo proiskhozhdeniya v usloviyakh lesostepi yuga Zapadnoy Sibiri* [Evaluation of iris varieties of the «Siberian» class of different geographic origin in the forest-steppe conditions of the south of Western Siberia]. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of Altai State Agrarian University], 2016, no. 6 (140), pp. 55–60.
- [30] Sorokopudova O.A., Artyukhova A.V. *Kharakteristika vidov i sortov irisov kolleksii Vserossiyskogo selektsionno-tekhnologicheskogo instituta sadovodstva i pitomnikovodstva* [Characteristics of species and varieties of irises from the collection of the All-Russian Institute of Selection and Technology of Horticulture and Nursery]. *Biologiya rasteniy i sadovodstvo: teoriya, innovatsii* [Plant biology and horticulture: theory, innovation], 2019, no. 148, pp. 235–245.
- [31] Rakhimova A.F. *Introduktsiya i selektsiya irisov v lesostepnoy zone Yuzhnogo Urala* [Introduction and breeding of irises in the forest-steppe zone of the Southern Urals]. Dis. Sci. Cand. (Biol.). Ufa, 2000, 187 p.
- [32] Austin C. *Irises. A gardener's encyclopedia*. Portland, Oregon: Timber Press, 2005, 339 p.

The work was carried out within the framework of the State Budget of GBS RAS (no. 18-118021490111-5).

Authors' information

Mamaeva Natal'ya Anatol'yevna  — Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher of the N.V. Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences, mamaeva_n@list.ru

Kuznetsova Yana Vyacheslavovna — Master graduand, Russian State Agrarian University — Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazeva, kitik.v.nebe@gmail.com

Received 13.12.2021.

Approved after review 24.02.2022.

Accepted for publication 23.05.2022.

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

МИКОЛИЗ ДРЕВЕСИНЫ, ЕГО ПРОДУКТЫ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ.

V. «БУРАЯ ГНИЛЬ» ДРЕВЕСИНЫ КАК ПРИРОДНЫЙ КОМПОЗИТ И ИСТОЧНИК ПОЛУПРОДУКТОВ

Г.Н. Кононов¹✉, А.Н. Веревкин¹, Ю.В. Сердюкова¹,
В.А. Петухов¹, Н.Л. Горячев²

¹МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1
²ОАО «ЦНИИБ», 141260, Московская обл., пос. Правдинский, ул. Ленина, д. 15/1

kononov@mgul.ac.ru

Рассмотрены возможные пути использования древесины с «бурой гнилью», как природного продукта обогащенного лигнином. Приведены результаты исследований пиролиза микологически разрушенной древесины в качестве модификатора гидролизного лигнина при получении из него угля-сырца. Проведены исследования ее пьезотермической обработки в целях получения лигноуглеводных пластиков. Изучена возможность использования экстрактивных веществ «бурой гнили» при получении лигноформальдегидных олигомеров. Настоящая статья является пятой в цикле «Микозис древесины, его продукты и их использование» (предыдущие опубликованы в журнале «Лесной вестник / Forestry Bulletin», 2020, т. 24, № 2, № 5; 2021, т. 25, № 1, № 5).

Ключевые слова: биолигнин, гидролизный лигнин, технологические отходы, уголь-сырец, лигноуглеводный пластик, лигноформальдегидные олигомеры

Ссылка для цитирования: Кононов Г.А., Веревкин А.Н., Сердюкова Ю.В., Петухов В.А., Горячев Н.Л. Микозис древесины, его продукты и их использование. V. «Бурая гниль» древесины как природный композит и источник полупродуктов // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 4. С. 92–102.
DOI: 10.18698/2542-1468-2022-4-92-102

В результате микозиса древесины под действием целлюлолитических ферментов дереворазрушающих грибов в природных условиях образуется «бурая гниль» [1]. Данный продукт хотя и сохраняет в той или иной степени анатомическое строение здоровой древесины, но значительно снижает ее физико-механические характеристики и рассматривается как один из главных пороков древесины, приводящих к образованию большого количества отходов лесопиления [2]. При этом, высокая пористость и развитая поверхность такой микологически разрушенной древесины за счет деградации ее углеводных компонентов, позволяют предположить возможность использования этого отхода при получении сорбционных систем различного назначения [3]. Увеличение содержания достаточно лабильного биолигнина, а также низкомолекулярных фенольных соединений в «бурой гнили» дают основание для ее использования при получении биопластиков и олигомерных продуктов [4].

Цель работы

Целью работы — изучение процесса пиролиза с использованием древесины с «бурой гнилью» для получения углеродных сорбентов и исследо-

вание возможности получения из нее биопластиков и олигомерных продуктов.

Материалы и методы

В качестве объекта исследования была использована «бурая гниль» древесины ели конечной стадии развития и технический гидролизный лигнин, производства Кировского БиоХимЗавода (рис. 1).

Пиролиз исходного сырья осуществлялся по методике, изложенной в работе [5], со скоростью нагрева 10 °С/мин до заданной температуры и последующей выдержкой в течение 2 ч, и затем охлаждением до комнатной температуры. Определение массовой доли нелетучего углерода и летучих веществ в полученном угле-сырце, проводилось по ГОСТ 33625–2015. «Уголь древесный. Стандартный метод технического анализа».

Получение лигноуглеводного пластика из древесины с «бурой гнилью» осуществлялось пресованием на гидравлическом прессе ПВ-474 при давлении 4,0 МПа, температуре 150 °С в течении 20 мин. Предел прочности полученного пластика при сжатии определялся по ГОСТ 16483.10–13, а предел прочности при изгибе по ГОСТ 16483.4–73.

Синтез олигомерных продуктов с использованием экстрактивных веществ «бурой гнили» осуществлялся по методике синтеза фенолоформальдегидных олигомеров [6].

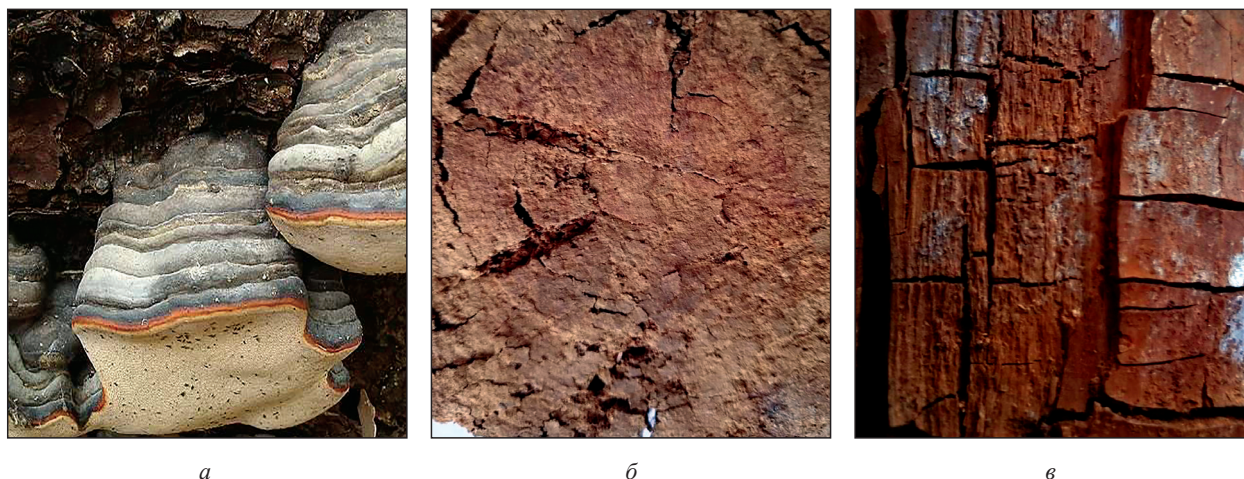


Рис. 1. Бурая гниль древесины ели и гриб, вызывающий ее образование: *a* — плодовое тело трутовика окаймленного (*Fomitopsis Pimicola*); *б* — торцевой срез; *в* — тангенциальный срез

Fig. 1. Brown rot of spruce wood and the fungus causing its formation: *a* — fruit body of bordered tinder (*Fomitopsis Pimicola*); *б* — end section; *в* — tangential section

Результаты и обсуждение

Высокое содержание углерода в биолигнине «бурой гнили» [3], и наличие реакционноспособных групп (табл. 1), а также большое количество активных низкомолекулярных фенолов [4], послужило основанием для предположения о возможности ее использования в качестве сырья для пиролиза с целью получения угля-сырца, за счет процессов, происходящих в ней при высоких температурах (рис. 2).

Для подтверждения данного предположения был проведен пиролиз «бурой гнили», в результате которого было выяснено, что при повышении температуры от 350 до 550 °С, происходит резкое падение выхода угля-сырца. Это связано, по-видимому, с большим количеством низкомолекулярных кислородсодержащих веществ, превращающихся при высоких температурах в газообразные продукты, однако, содержание нелетучего углерода в полученном угле-сырце было высоким.

В связи с этим для увеличения выхода угля-сырца было предложено использовать еще один вид отходов, но уже химической переработки древесины — технический гидролизный лигнин, обладающий высоким «коксовым числом» по сравнению с микологически разрушенной древесиной (рис. 3).

Недостатком гидролизного лигнина с точки зрения получения из него угля-сырца, является его высокая дисперсность [8] с образованием первичного угля при его пиролизе, который невозможно активировать, вследствие его сгорания в потоке перегретого пара. Этот недостаток можно ликвидировать смешиванием гидролизного лигнина с низкомолекулярными продуктами

Т а б л и ц а 1

Содержание функциональных групп в нативном лигнине древесины и биолигнине бурой гнили ели, % [7]

The content of functional groups in native lignin of wood and biolignin of brown rot of spruce, % [7]

Функциональная группа	Нативный лигнин	Биолигнин «бурой гнили»
—OCH ₃	15,11	9,67
α-C=O	0,07	0,14
—COOH	0,1	0,23
Общие —OH	1,16	1,36
Фенольные —OH	0,24	0,58
Алифатические —OH	0,92	0,78

сульфитной делигнификации древесины. Однако их введение резко повышает зольность готового продукта, что крайне нежелательно [9]. Близость химической природы экстрактивных веществ «бурой гнили» и указанных соединений, с наличием высоколабильного «биолигнина» в ней, позволило предположить возможность реакций, приводящих к структурированию гидролизного лигнина в процессе пиролиза с получением кондиционного угля-сырца. Несмотря на потерю большого количества функциональных групп, гидролизный лигнин содержит в своем составе ароматические циклы, способные вступать в реакции конденсации с карбонильными группами биолигнина «бурой гнили» при высоких температурах пиролиза, а фенольные экстрактивные вещества «бурой гнили» могут выступать в качестве сшивающих агентов [10]. Остаточная углеводная часть «бурой гнили» в результате термораспада будет образовывать альдегидные соединения, которые так же могут выступать в качестве активных компонентов.

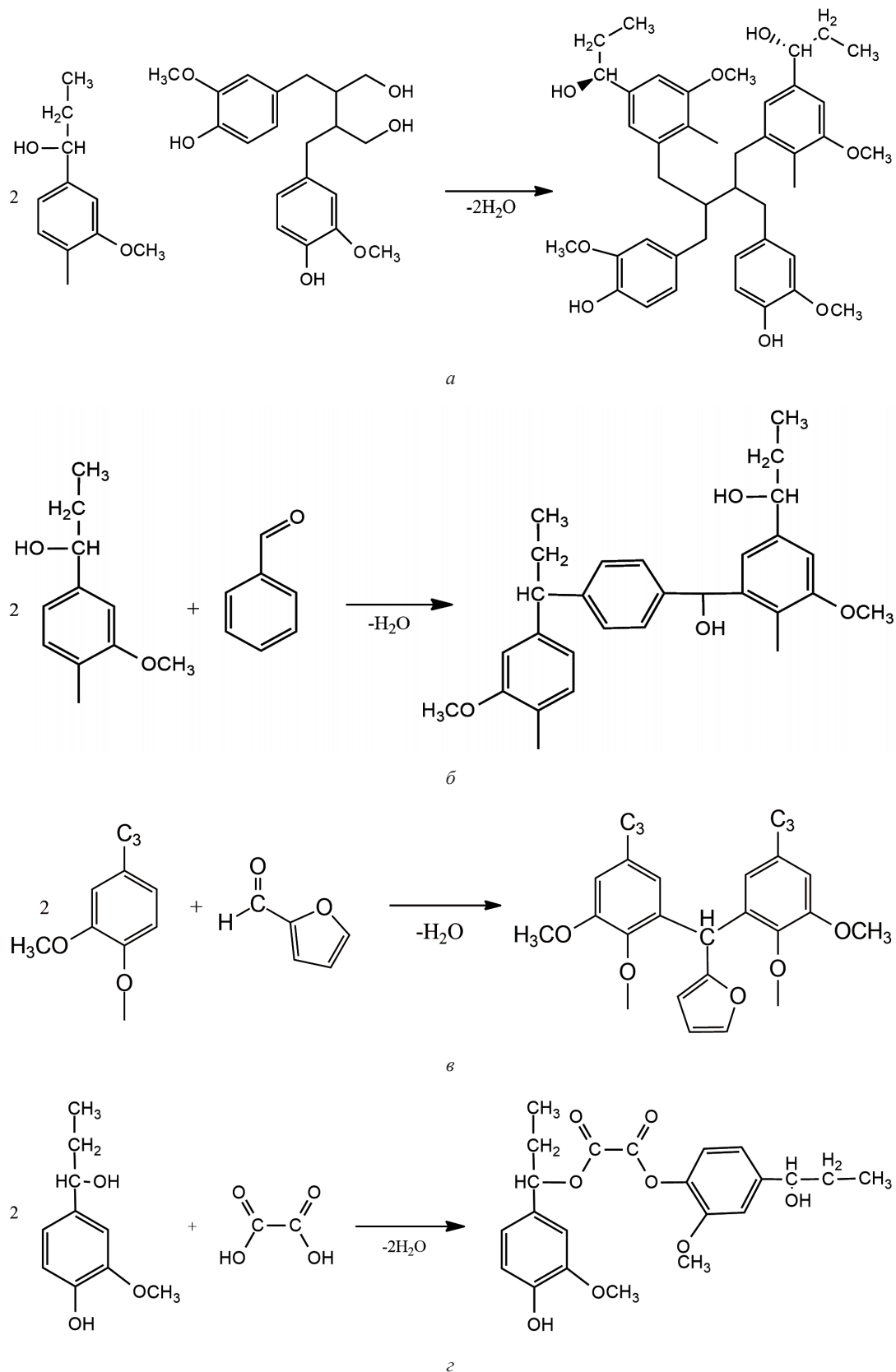


Рис. 2. Возможные пути взаимодействия фрагментов биолигнина «бурой гнили» с ее экстрактивными веществами: *a* — полиоксифенолы; *b* — карбонилсодержащие соединения; *v* — продукты дегидратации пентозанов; *z* — карбоксилсодержащие соединения

Fig. 2. Possible ways of interaction of fragments of «brown rot» biolignin with its extractive substances: *a* — polyoxyphenols; *b* — carbonyl-containing compounds; *v* — products of pentosan dehydration; *z* — carboxyl-containing compounds

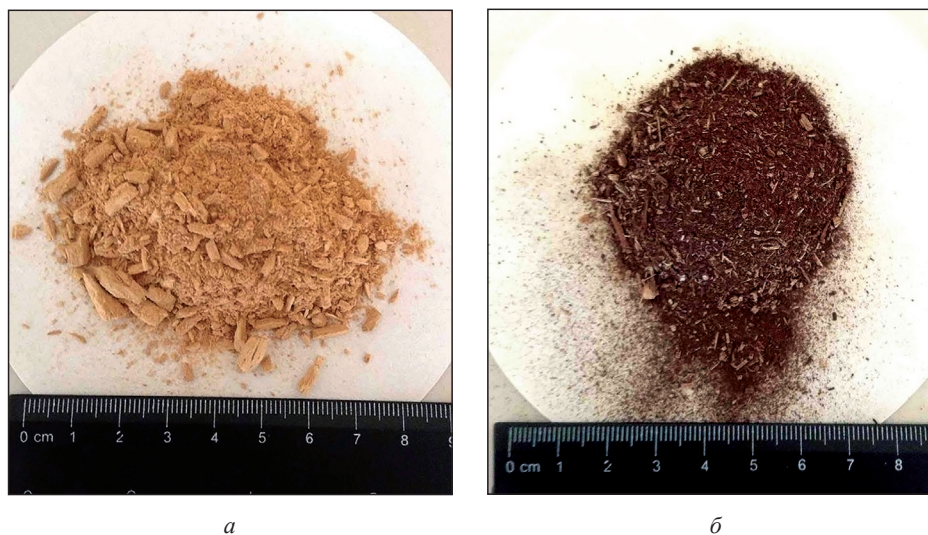


Рис. 3. Отходы механической и химической переработки древесины: *а* — «бурая гниль»; *б* — гидролизный лигнин
Fig. 3. Waste of mechanical and chemical processing of wood: *a* — «brown rot»; *b* — hydrolytic lignin

Взаимодействие такого модификатора, как «бурая гниль», с гидролизным лигнином, предположительно, поможет хотя бы частично восстановить его утраченную надмолекулярную структуру и уменьшить степень обгара получаемого угля-сырца при его дальнейшей активации.

На процесс пиролиза лигнина оказывают влияние его многочисленные функциональные группы, изменения которых в результате различных термолитических превращений протекают параллельно. Для пиролиза лигнина характерны два противоположных процесса: 1) расщепление макромолекулы с образованием низкомолекулярных продуктов; 2) конденсация с участием гидроксильных и карбонильных групп. Термораспад макромолекулы лигнина протекает сначала с участием наименее устойчивых связей, а затем с участием наиболее прочных связей [11].

Пиролитические превращения лигнина протекают в интервале температур 150...300 °С. Реакции при этом подразделяются на реакции первичной конденсации, начинающиеся при температуре 150 °С, и реакции вторичной конденсации, начинающиеся при температуре 300 °С [12]. Наиболее лабильны при пиролизе простые эфирные β–O–4 связи, деструкция которых начинается при температурах порядка 150...220 °С и достигает максимума при 280...300 °С. Углерод-углеродные связи более устойчивы и тормозят образование летучих веществ при пиролизе. Наименее устойчивы из них связи β–γ, что приводит к отщеплению углеродного атома при температурах 250...280 °С, а при температуре 350 °С уже происходит расщепление связей α–β. Наиболее прочные α–5 и 5–5' связи разрушаются

Т а б л и ц а 2

Выход угля-сырца из шихты при разных значениях температуры карбонизации, °С

The output of raw coal from the charge at different carbonization temperature values, °С

Состав сырья	Температура карбонизации, °С				
	350	400	450	500	550
Бурая гниль (БГ)	43,53	23,53	12,49	11,54	9,53
50 % БГ/50 % ГЛ	49,854	23,273	21,345	14,303	9,45
25 % БГ/75 % ГЛ	55,522	37,015	25,377	20,103	16,915
13 % БГ/87 % ГЛ	60,221	38,067	35,959	24,621	22,021
Гидролизный лигнин (ГЛ)	59,6	40,336	33,33	25,17	21,99

при температурах, начиная от 400...450 °С, вплоть до 600 °С (рис. 4) [13, 14].

Остаточная целлюлоза, находящаяся в гидролизном лигнине, представлена в основном кристаллической фазой, вследствие того, что гидролитическая деструкция целлюлозы под действием разбавленных минеральных кислот проходит в аморфных областях, диффузия реагентов в которые значительно выше, чем в кристаллиты [15]. Кристаллическая часть целлюлозы начинает превращаться в аморфную при температурах 270...280 °С. При температуре 340 °С происходит полная аморфизация, после чего начинается формирование структуры угля. При достижении температур 400...450 °С выделение жидких и газообразных продуктов заканчивается. Основным процессом деструкции является деполимеризация с образованием левоглюкозана (1,6-ангидроглюко-

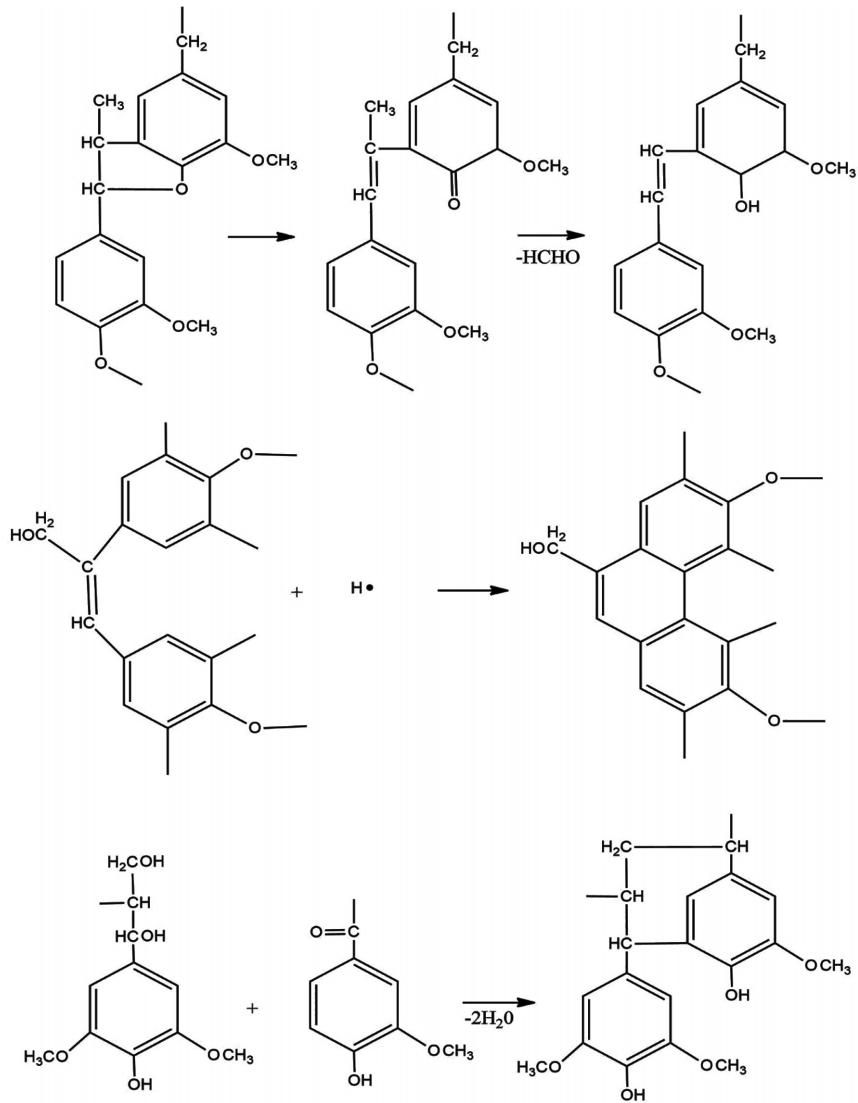


Рис. 4. Схемы превращения структур лигнина при пиролизе
 Fig. 4. Schemes of lignin structures transformations during pyrolysis

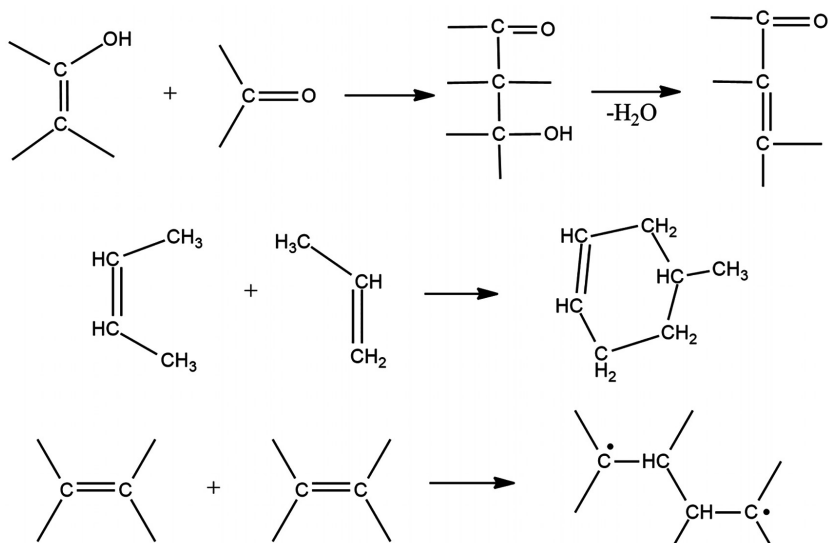


Рис. 5. Схема превращений структур целлюлозы при пиролизе
 Fig. 5. The scheme of cellulose structure transformations during pyrolysis

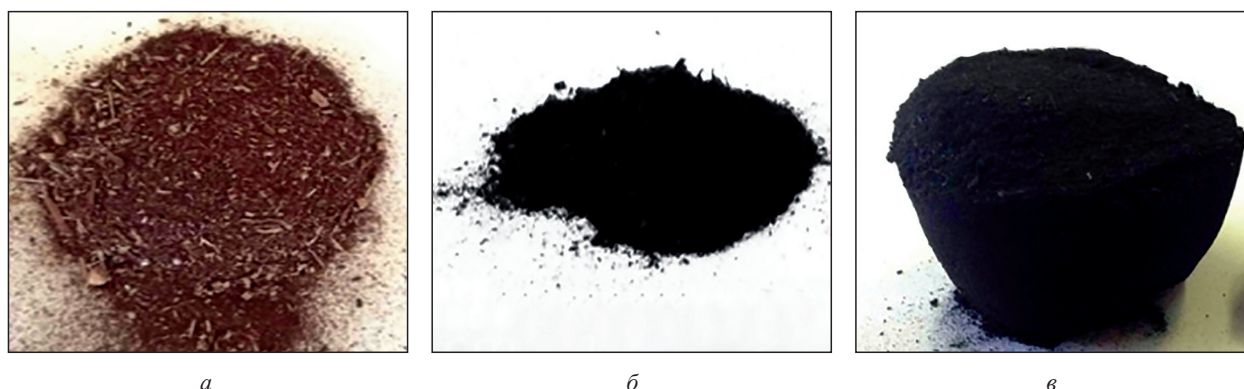


Рис. 6. Гидролизный лигнин (а) и уголь-сырец из гидролизного (б) и модифицированного гидролизного лигнина 12,5 % «бурой гнили» (в)
Fig. 6. Hydrolyzed lignin (a); raw coal from hydrolyzed lignin (b) and from modified hydrolytic lignin 12,5 % «brown rot» (c)

пиранозы), который, в свою очередь, подвергается деструкции с образованием других соединений. Формирование угольного остатка из целлюлозы может происходить в результате химических превращений, представленных на рис. 5 [16].

Исследование влияния содержания гидролизного лигнина в исходной шихте с «бурой гнилью» на выход угля-сырца позволило получить результаты, представленные в табл. 2.

Анализ данных, приведенных в табл. 2, можно констатировать, что при оптимальной температуре пиролиза 450 °С «бурая гниль» дает очень незначительное количество угля-сырца, по-видимому, вследствие большого содержания низкомолекулярных кислородсодержащих соединений. При увеличении содержания гидролизного лигнина в шихте от 50 до 87,5 % происходит закономерное увеличение выхода угля-сырца за счет возрастания доли высокосконденсированного углеродного компонента, каковым является гидролизный лигнин [17, 18]. Однако исходная шихта, состоящая только из технического гидролизного лигнина, дает выход угля-сырца примерно на 3 % ниже, чем с добавкой 12,5 % «бурой гнили». Это может свидетельствовать о том, что низкомолекулярные соединения, содержащиеся в «бурой гнили», вступают в качестве сшивающих агентов и увеличивают количество конденсированных структур, что и приводит к увеличению выхода угля-сырца.

Взаимодействие гидролизного лигнина с веществами «бурой гнили» доказывает так же непропорциональное снижение выхода угля-сырца при увеличении ее доли в шихте и, что самое главное, внешний вид угля, который спекается в результате пиролиза и не образуется в виде мелкодисперсного порошка (рис. 6).

При анализе данных обуглероживания «бурой гнили» очевидно интенсивное снижение выхода угля-сырца при повышении температуры карбонизации. Это свидетельствует о большом

Т а б л и ц а 3

Массовая доля нелетучего углерода, %
Mass fraction of non-volatile carbon, %

Состав сырья	Температура карбонизации, °С				
	350	400	450	500	550
Чистая бурая гниль (БГ)	64,7	60	57	80	83,3
50 % БГ/50 % ГЛ	69,55	68,75	42,1	11,4285	40
25 % БГ/75 % ГЛ	31,57	31,25	50	28,125	19
13 % БГ/87 % ГЛ	41,86	51,724	25	25	17,24
Чистый гидролизный лигнин (ГЛ)	72,09	51,6	50	18,91	17,24

Т а б л и ц а 4

Массовая доля летучего углерода, %
Mass fraction of volatile carbon, %

Состав сырья	Температура карбонизации, °С				
	350	400	450	500	550
Бурая гниль (БГ)	33,83	38,53	41,53	18,53	15,23
50 % БГ/50 % ГЛ	25	25,75	52,465	82,9365	54,565
25 % БГ/75 % ГЛ	61,01	61,33	42,583	64,16	73,5825
13 % БГ/87 % ГЛ	52,893	45,203	66,63	66,2	74,39
Гидролизный лигнин (ГЛ)	18,51	39	40,6	71,69	73,36

содержанию как низкомолекулярных кислородсодержащих веществ, так и сильно окисленной поверхностной структуры «бурой гнили». Данная зависимость справедлива и при обуглероживании гидролизного лигнина, однако интенсивность

процесса в данном случае значительно ниже, поскольку содержание низкомолекулярных веществ, легко превращающихся в газообразные продукты, в гидролизном лигнине значительно ниже и окисленность его поверхности незначительна. При добавлении бурой гнили в исходное сырье выход угля-сырца не только не снижается, как можно было бы предположить, а в некоторых случаях еще и увеличивается, что так же свидетельствует о химическом взаимодействии веществ «бурой гнили» с гидролизным лигнином.

Полученные образцы угля-сырца были проанализированы в целях определения содержания в них нелетучего углерода и летучих веществ (табл. 3, 4).

При определении содержания массовой доли нелетучего углерода обнаружен максимум его содержания в угле-сырце, полученном из «бурой гнили» при температуре 450 °С. Более низкие температуры карбонизации дают меньшее содержание углерода вследствие незавершенности процессов конденсации низкомолекулярных и высокомолекулярных фракций биолигнина «бурой гнили», а более высокие температуры (500...550 °С) приводят, по видимому, к разрушению этих структур и, как следствие, к снижению выхода угля-сырца. Что касается угля-сырца из гидролизного лигнина, то вследствие высокой сконденсированности его макромолекул, наблюдается закономерное возрастание доли нелетучего углерода с увеличением температуры карбонизации.

Выбор оптимальной температуры карбонизации 450 °С обусловлен как максимальным содержанием нелетучего углерода в угле из «бурой гнили», так и в угле, получаемом из композиции с содержанием «бурой гнили» 12,5%. Это подтверждает, что «бурую гниль», имеющую многокомпонентный состав, можно использовать как эффективный модификатор гидролизного лигнина при карбонизации, в целях получения из него кондиционного угля-сырца.

Полученный уголь-сырец был подвержен ситовому анализу для определения его фракционного состава. Зависимость фракционного состава получаемого угля-сырца от содержания «бурой гнили» в шихте представлена на рис. 7.

Фракционный состав не зависит от температуры, но с увеличением содержания «бурой гнили» закономерно увеличивается доля фракций более 2 мм. При увеличении ее содержания выше 17,5 % фракционный состав изменяется незначительно. Отсутствие влияния температуры в исследуемом интервале на фракционный состав свидетельствует о том, что «сшивание» макромолекул лигнина проходит при температурах ниже 300 °С, что связано с изменением функционального

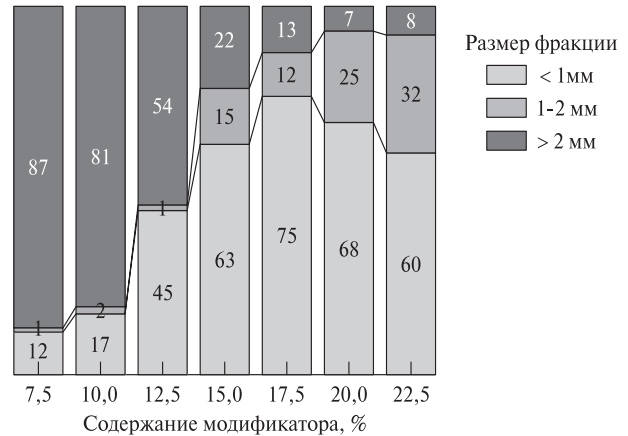


Рис. 7. Гистограммы зависимости фракционного состава угля-сырца от содержания «бурой гнили» в исходной шихте при температуре пиролиза 450 °С

Fig. 7. Histograms of the fractional composition dependence of raw coal on the brown rot content in the initial charge at a pyrolysis temperature of 450 °С

состава лигнина [18]. Как показано на гистограммах (рис. 7), при увеличении содержания «бурой гнили» выше 17,5 % начинает снижаться доля фракции размером более 2 мм и увеличивается доля фракции размером от 1 до 2 мм, что связано с уменьшением прочности получаемых гранул и их частичным разрушением при проведении ситового анализа. Низкая прочность и высокая хрупкость древесины с «бурой гнилью» дает возможность легко ее гомогенизировать до порошкообразного состояния. Однако участки древесины, не подвергшиеся действию целлюлолитических ферментов гриба и содержащие полисахаридную составляющую, не измельчаются в порошок [19]. Аналогичные процессы могут наблюдаться при получении технологической щепы из древесины с участками «бурой гнили».

В результате сепарации измельченной древесины будет получена кондиционная технологическая щепа и порошкообразный продукт, включающий как мелкодисперсную «бурую гниль», так и частицы здоровой древесины, содержащей целлюлозу. Такой технологический вид отходов, по нашему мнению, можно использовать в качестве сырья для получения лигноуглеводных пластиков. В этой композиции роль армирующего волокнистого компонента будут выполнять частицы здоровой древесины, а своеобразного связующего — мелкодисперсная «бурая гниль» [20, 21]. Наличие в последней и высоколабильного биолигнина, и реакционноспособных низкомолекулярных фенольных соединений, подтвердивших свою активность при получении угля-сырца, может позволить реализовать химические процессы начальной стадии пиролиза в режимах пьезотермической обработки получения композиционных пластиков [22].

Физико-механические характеристики биопластиков, полученных из микологически разрушенной древесины ели с «бурой гнилью»

Physico-mechanical characteristics of bioplastics obtained from mycologically destroyed spruce wood with «brown rot»

Состав композиции, %		Физико-механический показатель			
Здоровая древесина	«Бурая гниль»	Предел прочности при изгибе, МПа	Предел прочности при сжатии, МПа	Водопоглощение при 20 °С за 24 часа, %	Разбухание при 20 °С за 24 часа, %
0	100	3,45	6,90	13,9	12,0
25	75	6,08	7,20	16,2	13,5
50	50	15,53	10,11	17,47	14,5
75	25	18,07	6,10	21,78	18,0
100	0	–	–	–	–

Для реализации теоретических предпосылок были составлены прессовочные композиции, состоящие из определенных пропорций измельченной здоровой древесины и мелкодисперсной «бурой гнили», подвергшиеся горячему прессованию в режиме получения композиционных фенопластов при температуре 150 °С и давлении 40 МПа [23] (табл. 5).

Как следует из табл. 5, в результате эксперимента были получены биопластики с приемлемыми прочностными показателями, значения которых закономерно возрастали с увеличением содержания здоровой древесины как армирующего агента. Однако из композитов со 100%-м содержанием здоровой древесины биопластик не был получен. Следовательно, «бурая гниль», как и предполагалось, выполняет функцию гидрофобного связующего, о чем дополнительно свидетельствует закономерное возрастание водопоглощения и разбухания при снижении ее содержания в прессовочных композициях. Оптимально соотношение компонентов находится в пределах 50/50, при котором получаемый биопластик обладает достаточно высокой прочностью и водостойкостью (рис. 8).

Из предыдущих исследований известно, что экстрактивные вещества «бурой гнили» чрезвычайно многообразны, а их содержание в ней в некоторых случаях достигает почти 50 % [10]. Особенно хорошо они извлекаются водой и щелочными растворами в виде фенолятов. Высокая реакционная способность этих веществ подтверждает их нестабильность при выпаривании экстрактов. Так, после полного удаления воды, сухой остаток экстракта не удается полностью растворить в исходном объеме растворителя, что свидетельствует о конденсационных процессах с участием экстрактивных веществ.

Этот эффект был использован при синтезе олигомеров в условиях получения резолов с использованием упаренных щелочных экстрактов



Рис. 8. Биопластик из прессмассы, включающей в себя 50 % здоровой древесины и 50 % «бурой гнили»

Fig. 8. Bioplastics from a press-mass with 50 % healthy wood and 50 % «brown rot»



Рис. 9. Предконденсат из экстрактивных веществ «бурой гнили» и параформа

Fig. 9. Precondensate from extractive substances of «brown rot» and paraform

и параформа [24]. В результате были получены высоковязкие предконденсаты, переходящие в неплавкое состояние при последующем нагревании (рис. 9).

Этот факт лишний раз подтверждает высокую реакционную способность экстрактивных веществ «бурой гнили» и возможность использования древесины с «бурой гнилью» разных стадий ее развития в качестве прессовочных композиций для получения биопластиков без применения связующего.

Выводы

Древесину с «бурой гнилью» можно использовать в качестве структурирующего агента гидролизного лигнина при его пиролизе.

Древесные композиции с включением «бурой гнили» можно использовать при получении биопластиков.

Экстрактивные вещества «бурой гнили» могут быть заменителями фенолов при синтезе фенолформальдегидных олигомеров.

Список литературы

- [1] Aguiar A., Gavioli D., Ferraz A. Extracellular activities and wood component losses during *Pinus taeda* biodegradation by the brown-rot fungus *Gloeophyllum trabeum* // *International Biodeterioration and Biodegradation*, 2013, v. 82, no. 8, pp. 187–191.
- [2] Nakazawa T., Izuno A., Horii M. Effects of pex1 disruption on wood lignin biodegradation, fruiting development and the utilization of carbon sources in the white-rot Agaricomycete *Pleurotus ostreatus* and non-wood decaying Coprinopsis cinerea // *Fungal Genetics and Biology*, 2017, v. 82, no. 12, pp. 7 – 15.
- [3] WenXu J., DongDing Y., LiLi S., Mao R. Amount and biodegradation of dissolved organic matters leached from tree branches and roots in subtropical plantations of China // *Forest Ecology and Management*, 2021, v. 484, no. 3, pp. 11–28.
- [4] Грабакина О.А., Бабкин В.А., Медведева С.А., Иванова С.З. Деструкция грибом *Sporotrihium Pulverulentum* алкиларилэфирных димерных модельных соединений лигнина с карбонильной группой // *Химия древесины*, 1987. № 5. С. 34–40.
- [5] Кононов Г.Н. Химия древесины и ее основных компонентов. Лабораторный практикум. М.: МГУЛ, 2005. 138 с.
- [6] Григорьев О.Н., Федотова А.И. Лабораторный практикум по технологии пластических масс. В 2 т. М.: Высшая школа, 1977. Т. 2. 264 с.
- [7] Кононов Г.Н. Дендрохимия. Химия, нанохимия и биогенхимия компонентов клеток, тканей и органов древесных растений. В 2 т. М.: МГУЛ, 2015. Т. 2. С. 481–1111.
- [8] Ганбаров Х.Г., Мурадов П.З., Самедова Р.Ф., Мамедьяров М.А. Биоконверсия обрезков виноградной лозы дереворазрушающими базидиальными грибами // *Химия древесины*, 1987. № 1. С. 61–64.
- [9] Кононов Г.Н., Мазитов Л.А., Климов В.С. Пиролиз лигносодержащего сырья // *Науч. тр. МГУЛ. Вып. 273*. М.: МГУЛ, 1994. С. 56–59.
- [10] Кононов Г.Н., Веревкин А.Н., Сердюкова Ю.В., Зайцев В.Д., Горячев Н.Л., Воликова А.С. Поведение экстрактивных веществ «бурой гнили» при термических воздействиях и возможные пути их использования // *Лесной вестник / Forestry Bulletin*, 2019. Т. 23. № 1. С. 102–109. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-1-102-109
- [11] Лигнины (структура, свойства и реакции) / под ред. К.Б. Сарканена, К.Х. Людвиг. М.: Лесная пром-сть, 1975. 630 с.
- [12] Кислицын А.Н. Пиролиз древесины: химизм, кинетика, продукты, новые процессы. М.: Лесная пром-сть, 1990. 312 с.
- [13] Азаров В.И., Буров А.В., Оболенская А.В. Химия древесины и синтетических полимеров. СПб.: Лань, 2010. 624 с.
- [14] Боголищын К.Г. Физическая химия лигнина. Архангельск: Академкнига, 2010. 492 с.
- [15] Целлюлоза и ее производные. В 2 т. / под ред. Н. Байкля, Л. Сегала. М.: Мир, 1974. Т. 2. 512 с.
- [16] Дайнеко И.П. Химические превращения целлюлозы при пиролизе // *ИВУЗ Лесной журнал*, 2004. № 4. С. 97–112.
- [17] Чудаков В.И. Промышленное использование лигнина. М.: Лесная пром-сть, 1983. 200 с.
- [18] Кононов Г.Н., Зарубина А.Н., Зайцев В.Д. Влияние технологических факторов на процесс пиролиза модифицированного гидролизного лигнина // *Тез. докл. Междунар. конф. «Леса России: политика, промышленность, наука, образование»*, Санкт-Петербург, 16–18 июня 2020 г. СПб.: Политех-Пресс, 2020. С. 142–143.
- [19] Озолия Н.Р., Сергеева В.Н., Хохолко С.В., Абрамович Ц.Л. Изменение лигнина древесины березы при поражении ее грибом *Coriolus Hirsutus* // *Химия древесины*, 1988. № 4. С. 74–79.
- [20] Кононов Г.Н., Зайцев В.Д. Микологически разрушенная древесина как перспективное органическое сырье // *Тез. докл. Междунар. конф. «Леса России: политика, промышленность, наука, образование»*, 22–24 мая 2019 г. СПб.: Изд-во СПбГЛТУ, 2019. С. 292–294.
- [21] Билай В.И. Трансформация целлюлозы грибами. Киев: Наукова думка, 1982. 295 с.
- [22] Микололиз древесины, его продукты и их использование // *Тез. докл. Междунар. конф. «Лесной комплекс в цифровой экономике»*, Москва, 02–05 декабря 2019 г. М.: Научные технологии, 2019. С. 91–94.
- [23] Рабинович М.Л., Болобова А.В., Кондращенко В.И. Теоретические основы биотехнологии древесных композитов. Кн. 1. Древесина и разрушающие ее грибы. М.: Наука, 2001. 264 с.
- [24] Азаров В.И., Винославский В.А., Кононов Г.Н. Лабораторный практикум по химии древесины и синтетических полимеров. М.: МГУЛ, 2006. 248 с.

Сведения об авторах

Кононов Георгий Николаевич [✉] — канд. техн. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), чл.-корр. РАЕН, ученый секретарь секции «Химия и химическая технология дресины» РХО им. Д.И. Менделеева, kononov@mgul.ac.ru

Веревкин Алексей Николаевич — канд. хим. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), verevkin@mgul.ac.ru

Сердюкова Юлия Владимировна — ст. преподаватель МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), serdykova@mgul.ac.ru

Петухов Владимир Алексеевич — студент, МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), poroviviv24@gmail.com

Горячев Никита Леонидович — канд. техн. наук, руководитель испытательного центра целлюлозно-бумажной продукции ОАО «ЦНИИБ», nlgoryachev@bk.ru

Поступила в редакцию 28.03.2022.

Одобрено после рецензирования 08.04.2022.

Принята к публикации 23.05.2022.

MYCOLYSIS OF WOOD, ITS PRODUCTS AND THEIR USE.

V. «BROWN ROT» OF WOOD AS A NATURAL COMPOSITE AND SOURCE OF INTERMEDIATES

G.N. Kononov^{1✉}, A.N. Verevkin¹, Yu.V. Serdyukova¹, V.A. Petukhov¹, N.L. Goryachev²

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

²JSC «TSNIB», 15/1, Lenin st., 141260, Pravdinsky settlement, Moscow reg., Russia

kononov@mgul.ac.ru

The article is devoted to the consideration of possible ways of using wood with «brown rot» as a natural product enriched with a vitamin component. The results of the study of the pyrolysis process of such mycologically destroyed wood, as a modifier of hydrolytic lignin in the production of raw coal from it, are presented. Studies have been carried out on the piezothermic processing of this natural composite in order to obtain ligno-hydrocarbon plastics from it. The possibility of using extractive substances of «brown rot» in the production of lignoformaldehyde oligomers has been studied. This article is the fifth in the cycle «Mycolysis of wood, its products and their use», the previous ones were published in the journal «Forestry Bulletin», 2020, vol. 24, No. 2, No. 5 and 2021, vol. 25, No. 1, No. 5. **Keywords:** biolignin, hydrolytic lignin, technological waste, raw coal, lingo-carbohydrate plastic, lingo-formaldehyde oligomers

Suggested citation: Kononov G.N., Verevkin A.N., Serdyukova Yu.V., Petukhov V.A., Goryachev N.L. *Mikoliz drесины, ego produkty i ikh ispol'zovanie. V. «Buraya gnil'» drесины kak prirodnyy kompozit i istochnik poluproduktov* [Mycolysis of wood, its products and their use. V. «Brown rot» of wood as a natural composite and source of intermediates]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 4, pp. 92–102.

DOI: 10.18698/2542-1468-2022-4-92-102

References

- [1] Aguiar A., Gavioli D., Ferraz A. Extracellular activities and wood component losses during Pinus taeda biodegradation by the brown-rot fungus Gloeophyllum tradeum. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 2013, v. 82, no. 8, pp. 187–191.
- [2] Nakazawa T., Izuno A., Horii M. Effects of pex1 disruption on wood lignin biodegradation, fruiting development and the utilization of carbon sources in the white-rot Agaricomycete Pleurotus ostreatus and non-wood decaying Coprinopsis cinerea. *Fungal Genetics and Biology*, 2017, v. 82, no. 12, pp. 7–15.
- [3] WenXu J., DongDing Y., LiLi S., Mao R. Amount and biodegradation of dissolved organic matters leached from tree branches and roots in subtropical plantations of China. *Forest Ecology and Management*, 2021, v. 484, no. 3, pp. 11–28.
- [4] Grabakina O.A., Babkin V.A., Medvedeva S.A., Ivanova S.Z. *Destruxiya gribom Sporotrihium Pulverulentum alkilarilefirnykh dimernykh model'nykh soedineniy lignina s karbonil'noy gruppoy* [Destruction by the fungus Sporotrihium Pulverulentum of alkylaryl ether model compounds of lignin with a carbonyl group]. *Khimiya drесины* [Chemistry of wood], 1987, no. 5, pp. 34–40.
- [5] Kononov G.N. *Khimiya drесины i ee osnovnykh komponentov. Laboratornyy praktikum* [Chemistry of wood and its main components]. Moscow: MGUL, 2005, 138 p.
- [6] Grigor'ev O.N., Fedotova A.I. *Laboratornyy praktikum po tekhnologii plasticheskikh mass* [Laboratory workshop on plastic mass technology]. In 2 t. Moscow: Higher School, 1977, v. 2, 264 p.
- [7] Kononov G.N. *Dendrokimiya. Khimiya, nanokhimiya i biogeokhimiya komponentov kletok, tkaney i organov drесыnykh rasteniy* [Chemistry, nanochemistry and biogeochemistry of components of cells, tissues and organs of woody plants]. In 2 t. Moscow: MGUL, 2015, v. 2, p. 481–1111.

- [8] Ganbarov Kh.G., Muradov P.Z., Samedova R.F., Mamed'yarov M.A. *Biokonversiya obrezkov vinogradnoy lozy derevorazrushayushchimi bazidial'nymi gribami* [Bioconversion of vine trimmings by wood-destroying basidial fungi]. *Khimiya drevesiny* [Chemistry of wood], 1987, no. 1, pp. 61–64.
- [9] Kononov G.N., Mazitov L.A., Klimov V.S. *Piroliz ligninosoderzhashchego syr'ya* [Pyrolysis of lignin-containing raw materials]. *Nauchnye trudy MGUL* [Scientific works of MGUL]. Iss. 273. Moscow: MSFU, 1994, pp. 56–59.
- [10] Kononov G.N., Verevkin A.N., Serdyukova Yu.V., Zaitsev V.D., Goryachev N.L., Volikova A.S. *Povedenie ekstraktivnykh veshchestv «buroy gnili» pri termicheskikh vozdeystviyakh i vozmozhnye puti ikh ispol'zovaniya* [Extractive substances behavior of «brown rot» under thermal exposure and possible ways of their use]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2019, vol. 23, no. 1, pp. 102–109. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-1-102-109.
- [11] *Ligniny (struktura, svoystva i reaktsii)* [Lignins (structure, properties and reactions)]. Ed. K.B. Sarkanen, K.H. Ludwig. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forest industry], 1975, 630 p.
- [12] Kislytsyn A.N. *Piroliz drevesiny: khimizm, kinetika, produkty, novye protsessy* [Pyrolysis of wood: chemistry, kinetics, products, new processes]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forest industry], 1990, 312 p.
- [13] Azarov V.I., Burov A.V., Obolenskaya A.V. *Khimiya drevesiny i sinteticheskikh polimerov* [Chemistry of wood and synthetic polymers]. Petersburg: Lan', 2010, 624 p.
- [14] Bogolitsyn K.G. *Fizicheskaya khimiya lignina* [Physical chemistry of lignin]. Arkhangel'sk: Akademkniga, 2010, 492 p.
- [15] *Tsellyuloza i ee proizvodnye. V 2 t.* [Cellulose and its derivatives. In 2 v.]. Ed. N. Baykles, L. Segal. Moscow: Mir, 1974, v. 2, 512 p.
- [16] Dayneko I.P. *Khimicheskie prevrashcheniya tsellyulozy pri pirolize* [Chemical transformations of cellulose during pyrolysis]. *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2004, no. 4, pp. 97–112.
- [17] Chudakov V.I. *Promyshlennoe ispol'zovanie lignina* [Industrial use of lignin]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forest industry], 1983, 200 p.
- [18] Kononov G.N., Zarubina A.N., Zaytsev V.D. *Vliyanie tekhnologicheskikh faktorov na protsess piroliza modifitsirovannogo gidroliznogo lignina* [The influence of technological factors on the pyrolysis process of modified hydrolytic lignin]. *Tezisy dokladov Mezhdunarodnoy konferentsii «Les Rossii: politika, promyshlennost', nauka, obrazovanie»* [Tezisy dokladov Mezhdunarodnoy konferentsii «Les Rossii: politika, promyshlennost', nauka, obrazovanie»], Sankt-Peterburg, 16–18 Juny 2020 g. St. Petersburg: Politekh-Press, 2020, pp. 142–143.
- [19] Ozolinya N.R., Sergeeva V.N., Khokholko S.V., Abramovich Ts.L. *Izmenenie lignina drevesiny berezy pri porazhenii ee gribom Coriolus Hirsutus* [The change in the lignin of birch wood when it is affected by the fungus Coriolus Hirsutus]. *Khimiya drevesiny* [Chemistry of wood], 1988, no. 4, pp. 74–79.
- [20] Kononov G.N., Zaytsev V.D. *Mikologicheski razrushennaya drevesina kak perspektivnoe organicheskoe syr'e* [Mycologically destroyed wood as a promising organic raw material]. *Tezisy dokladov Mezhdunarodnoy konferentsii «Les Rossii: politika, promyshlennost', nauka, obrazovanie»* [Tezisy dokladov Mezhdunarodnoy konferentsii «Les Rossii: politika, promyshlennost', nauka, obrazovanie»], St. Petersburg, 22–24 May 2019 g. St. Petersburg: SPbGLTU, 2019, p. 115.
- [21] Bilay V.I. *Transformatsiya tsellyulozy gribami* [Transformation of cellulose by fungi]. Kiev: Naukova dumka, 1982, 295 p.
- [22] *Mikoliz drevesiny, ego produkty i ikh ispol'zovanie* [Mycolysis of wood, its products and their use]. *Tezisy Mezhdunarodnoy konferentsii «Lesnoy kompleks v tsifrovoy ekonomike»* [Abstracts of the international conference «Forest complex in the Digital Economy»], Moskva, 02–05 dekabrya 2019 g. Moscow: Nauchnye tekhnologii, 2019, pp. 91–94.
- [23] Rabinovich M.L., Bolobova A.V., Kondrashchenko V.I. *Teoreticheskie osnovy biotekhnologii drevesnykh kompozitov. Kn. 1. Drevesina i razrushayushchie ee griby* [Theoretical foundations of biotechnology of wood composites. Book 1. Wood and its destroying fungi]. Moscow: Nauka, 2001, 264 p.
- [24] Azarov V.I., Vinoslavskiy V.A., Kononov G.N. *Laboratornyy praktikum po khimii drevesiny i sinteticheskikh polimerov* [Laboratory workshop on chemistry of wood and synthetic polymers]. Moscow: MGUL, 2006, 248 p.

Authors' information

Kononov Georgiy Nikolaevich ✉ — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), Corresponding Member of the Russian Academy of Natural Sciences, the Scientific Secretary of Section «Chemistry and engineering chemistry of wood» RHO of D.I. Mendeleev, kononov@mgul.ac.ru

Verevkin Aleksey Nikolaevich — Cand. Sci. (Chemical), Associate Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), verevkin@mgul.ac.ru

Serdyukova Yuliya Vladimirovna — Senior Lecturer of the BMSTU (Mytishchi branch), serdyukova@mgul.ac.ru

Petukhov Vladimir Alekseevich — Student of the BMSTU (Mytishchi branch), popoviviv24@gmail.com

Goryachev Nikita Leonidovich — Cand. Sci. (Tech.), Head of the Testing Center for pulp and paper products of the JSC «TSNIIB», nlgoryachev@bk.ru

Received 28.03.2022.

Approved after review 08.04.2022.

Accepted for publication 23.05.2022.

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 ПРЕДГИДРОЛИТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ БЕРЕЗЫ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА, ПОЛУЧАЕМОГО НА ЕЕ ОСНОВЕ

Ю.Г. Скурыдин¹✉, Е.М. Скурыдина²

¹ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет», 656049, г. Барнаул, пр. Ленина, д. 61

²ФГБОУ ВО «Алтайский государственный педагогический университет», 656031, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 55

skur@rambler.ru

Представлены результаты исследования влияния предварительной обработки древесины березы пероксидом водорода и ее последующей обработки методом взрывного автогидролиза на плотность, прочность при статическом изгибе, на водопоглощение и разбухание композитного материала, полученного на основе гидролизованной древесной массы методом горячего прессования без добавления связующих компонентов. Установлены зависимости плотности образцов, их прочностных и гидрофобных характеристик от количества, используемого при обработке пероксида водорода и жесткости условий взрывного автогидролиза. Определено пороговое количество пероксида водорода для каждого из режимов взрывного гидролиза.

Ключевые слова: взрывной автогидролиз, древесина березы, композитный материал, прочность, плотность, гидрофобные свойства, пероксид водорода

Ссылка для цитирования: Скурыдин Ю.Г., Скурыдина Е.М. Влияние предгидролитической обработки древесины березы на физико-механические характеристики композитного материала, получаемого на ее основе // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 4. С. 103–112. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-4-103-112

Одним из направлений развития лесной отрасли является разработка и совершенствование технологических процессов получения композитных материалов конструкционного назначения на основе древесных частиц [1–3]. Известно множество подобных технологий, однако до настоящего времени актуален вопрос создания материалов с заданными свойствами, в том числе определяющими более широкие границы их применения. Важное значение имеет вовлечение в коммерческий оборот растительных отходов, низкосортной древесины, а также разработка методов оценки влияния технологических факторов на свойства получаемых материалов. Полученные модели могут быть использованы при оптимизации технологических режимов получения материалов с требуемыми характеристиками.

Способ получения композитных материалов без добавления связующих компонентов, основанный на использовании гидролизованных древесных частиц, предполагает использование двух этапов. На первом этапе исходный лигноцеллюлозный материал подвергается баротермическому гидролизу в среде насыщенного водяного пара, на втором — осуществляется горячее прессование высушенных продуктов гидролиза в композитный материал без добавления связующих веществ [4–6]. Формирование композитной структуры обусловлено протеканием поликонденсационных процессов в компонентах

древесины, активированных при баротермической обработке [7].

Одним из методов баротермической обработки лигноцеллюлозных материалов является взрывной автогидролиз. В основе метода используется обработка частиц в течение заданного времени в среде насыщенного водяного пара, после чего следует резкий сброс давления с одновременной выгрузкой гидролизованного лигноцеллюлозного вещества [4, 8–13]. Глубокие гидролитические превращения в процессе такой обработки приводят не только к изменению морфологической структуры материала, но и к появлению в его составе новых, в том числе химически активных компонентов. Качественный и количественный состав гидролизованного древесного вещества зависит от вида обрабатываемого сырья и режимов баротермической обработки [6, 14, 15]. Исследования последних лет направлены на изучение факторов, определяющих кинетику процессов гидролиза растительной ткани при взрывном автогидролизе, изменение ее состава и характеристик компонентов, в том числе при использовании гидролизующих агентов [16–20]. Однако в настоящее время исследования подобного рода выполняются преимущественно в рамках проектов по разработке технологий биотоплива. Можно предполагать, что подобная предгидролитическая обработка может быть выполнена и при получении лигноцеллюлозной массы для создания на ее основе композитных материалов.

Цель работы

Цель работы — изучение зависимости прочностных и гидрофобных характеристик плитных композитных материалов из древесины березы от количества пероксида водорода, используемого в качестве гидролизующего агента на стадии получения древесной массы методом взрывного автогидролиза, а также от фактора жесткости баротермической обработки. Использование пероксида водорода расширяет возможности метода взрывного автогидролиза применительно к получению композитных материалов на его основе, обеспечивает возможность создания материалов с улучшенными физико-механическими характеристиками при менее жестких условиях баротермической обработки [21].

Материалы и методы исследования

Получение композитных материалов осуществлялось следующим образом. В качестве исходного сырья использованы частицы древесины березы пушистой (*Betula pubescens*), соответствующие параметрам технологической щепы со средним размером $\sim 5 \times 15 \times 25$ мм и влажностью 20..30 % (рис. 1). Процесс получения состоял из трех стадий.



Рис. 1. Технологическая щепа березы перед обработкой раствором пероксида водорода и баротермическим гидролизом

Fig. 1. Processed birch chips before treatment with hydrogen peroxide solution and explosive autohydrolysis

На первой стадии древесную щепу пропитывали водным раствором пероксида водорода. Количество раствора в разных сериях эксперимента в пересчете на пергидроль составляло от 0 до 100 м. ч. на 100 м. ч. древесины. Объем раствора каждый раз доводили до соотношения 1:1 к массе исходной древесины. Продолжительность обработки составляла 60 мин, температура ~ 293 К.

В процессе замачивания осуществлялось периодическое перемешивание щепы и раствора в целях обеспечения равномерной пропитки древесных частиц.

На второй стадии щепу, увлажненную раствором пероксида водорода, помещали в реактор установки взрывного автогидролиза периодического действия, где ее подвергали обработке насыщенным перегретым водяным паром в течение заданного времени. Температура обработки составляла 443...463К, продолжительность 5...15 мин. Поскольку степень воздействия взрывного автогидролиза на материал определяется преимущественно температурой и продолжительностью процесса баротермической обработки, то в соответствии с адаптивной математической моделью, предложенной в работах [22, 23], был выполнен расчет его фактора жесткости. Под фактором жесткости подразумевается температурно-временной параметр, расчетное значение которого дает количественную оценку условиям процесса баротермической обработки с точки зрения глубины морфологических и химических превращений в обрабатываемом материале и его компонентах. Достоинством фактора жесткости является то, что он представляет собой постоянную величину для каждого из соотношений температуры и продолжительности баротермической обработки, и позволяет легко сравнивать между собой степень воздействия разных условий взрывного автогидролиза на один и тот же материал. Для расчета использована размерная форма фактора жесткости, определяемого по формуле

$$R_0 = \tau \exp\left(\frac{T - 100}{14,75}\right),$$

где τ — продолжительность процесса баротермической обработки, мин;

T — температура процесса обработки, °С.

Для серии использованных образцов фактор жесткости находился в диапазоне 57...4466 мин. Стадия баротермической обработки завершалась резким сбросом давления в реакторе до атмосферного с одновременным выбросом гидролизованного древесного вещества в приемное устройство. Продолжительность процесса декомпрессии системы составляла не более 1 с. Полученный в результате баротермической обработки гидролизированный материал высушивали при комнатной температуре до влагосодержания ~ 20 % (рис. 2).

На третьей стадии осуществлялось горячее прессование гидролизованного древесного вещества в плитный композитный материал. Прессование выполнялось в разборной пресс-форме в заданной последовательности. Гидролизированные древесные частицы без добавления каких-либо связующих компонентов помещали в пресс-форму

при комнатной температуре, после чего включали нагрев и осуществляли подпрессовку материала при давлении 5 МПа, которое было принято за целевое. В процессе нагрева поддерживалось заданное давление с точностью $\pm 0,5$ МПа. После достижения целевой температуры прессования в 423К его продолжительность в условиях заданных температуры и давления составляла ~ 1 мин на 1 мм толщины композитного материала.

Полученный композитный материал (рис. 3) подвергался испытаниям в целях определения плотности, прочности при статическом изгибе, водопоглощения и разбухания за 24 ч по стандартным методикам в соответствии с требованиями ГОСТ 10634–88, ГОСТ 10635–88, ГОСТ 10633–2018 [24–26].

Результаты и обсуждение

Проведенный эксперимент позволил получить серию зависимостей плотности, прочности при статическом изгибе, водопоглощения и разбухания композитного материала от количества пероксида водорода, использованного на стадии предварительной обработки древесины, а также условий последующей баротермической обработки. На рис. 4 приведен пример зависимости плотности и прочности при статическом изгибе композитного материала от количества пероксида водорода при наиболее жестких условиях взрывного автогидролиза из тех, которые были использованы в работе.

Характерной особенностью представленной зависимости является первоначально резкое синхронное увеличение плотности композитного материала и его прочности при статическом изгибе с увеличением количества используемого при обработке пероксида водорода. Первоначально интенсивное увеличение плотности и прочности материала при увеличении количества перекиси водорода характерно и для иных, менее жестких условий баротермической обработки древесины (таблица).

Увеличение плотности материала при увеличении количества пероксида водорода в растворе для замачивания древесины можно считать следствием соответствующей интенсификации гидролитических процессов. Характерно, что интенсивность процесса увеличения плотности композитного материала с увеличением количества гидролизующего вещества постепенно замедляется. Это свойственно как образцам, полученным в относительно жестких условиях баротермической обработки, так и полученным в более мягких условиях. Из рис. 4, 5, и из данных таблицы следует, что в большинстве вариантов, достигнув условного порогового значения, плотность материала далее не увеличивается. Можно предположить, что при баротермической обработке древесины



Рис. 2. Гидролизованная древесина березы
Fig. 2. Hydrolyzed birch wood



Рис. 3. Композитный материал из гидролизованной древесины березы
Fig. 3. Composite material of hydrolyzed birch wood

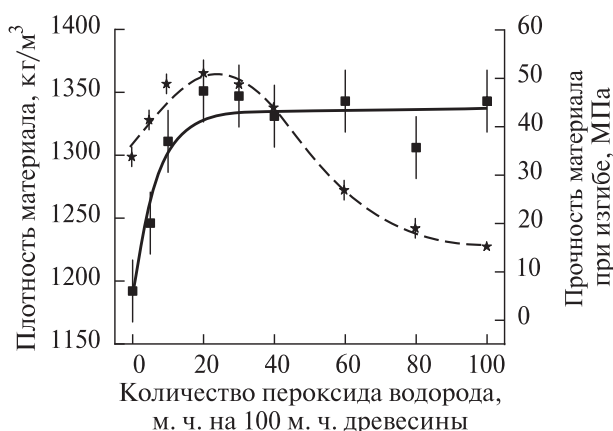


Рис. 4. Зависимость плотности и прочности при статическом изгибе композитного материала от количества пероксида водорода, использованного на стадии предварительной обработки древесины. Температура баротермической обработки 463К, продолжительность обработки 10 мин (фактор жесткости 4466 мин)

Fig. 4. Dependencies of density and static bending strength of composite material on the amount of hydrogen peroxide used at the stage of wood pretreatment. Barothermal treatment temperature 463K, treatment duration 10 min (stiffness factor 4466 min)

березы в присутствии пероксида водорода каждому из вариантов фактора жесткости процесса автогидролиза соответствует определенное количество пероксида водорода, при котором степень

Зависимость плотности и прочности при статическом изгибе композитного материала от жесткости условий взрывного автогидролиза и количества пероксида водорода, использованного на стадии предварительной обработки древесины

Dependences of density and static bending strength of composite material on the explosive autohydrolysis conditions and the amount of hydrogen peroxide used at the stage of wood pretreatment

Фактор жесткости взрывного автогидролиза, мин	Количество пероксида водорода, м. ч. на 100 м. ч. древесины	Плотность, кг/м ³	Прочность при изгибе, МПа	Фактор жесткости взрывного автогидролиза, мин	Количество пероксида водорода, м. ч. на 100 м. ч. древесины	Плотность, кг/м ³	Прочность при изгибе, МПа
575	0	694	1	2230	0	979	18
	10	740	1,5		10	1059	26,6
	20	854	7		20	1103	31
	30	939	14,5		30	1170	38
	40	1101	28,5		40	1375	47
	60	1270	44,5		60	1388	39
	80	1351	45,8		80	1458	32,2
	100	1363	35,8		100	1468	25,5
1133	0	839	5,5	3400	0	1178	33,5
	10	986	13		5	1229	39
	20	1058	22,5		10	1235	41
	30	1206	41		20	1304	52
	40	1330	47		30	1366	52,5
	60	1366	45		40	1373	48
	80	1440	32,9		60	1395	40
	100	1455	19,8		80	1416	36,4
1726	0	935	14	4466	100	1419	35,5
	5	1061	22		0	1192	34,5
	10	1056	23,5		5	1246	42
	20	1189	40,5		10	1311	49,5
	30	1289	49,5		20	1351	51,5
	40	1354	56		30	1347	49
	60	1394	42,5		40	1331	44
	80	1423	30,4		60	1343	27
	100	1442	22,3		80	1306	19
				100	1343	15	

дисперсности гидролизованного древесного вещества достигает максимума. Использование соответствующего количества пероксида водорода позволяет получить композитный материал с наибольшей для данных условий плотностью.

Прочностные характеристики материала изменяются по иному закону. Первоначально, при относительно небольшом количестве пероксида водорода, зависимость прочности от плотности носит характер, близкий к линейному (рис. 6). Дальнейшее увеличение концентрации пероксида водорода в растворе сопровождается ухудшением прочностных характеристик композитного материала. Подобная зависимость характерна для большинства выбранных режимов баротермической обработки древесины (рис. 7, см. таблицу). Наиболее вероятной причиной проявления подобного эффекта может быть активизация деструктивных процессов в составе комплекса

компонентов древесины в присутствии значительного количества пероксида водорода. При этом наиболее интенсивным деструктивным изменениям подвержены компоненты, обуславливающие появление химически активных групп, формирующих сшитые структуры в композитном материале. Прежде всего, это продукты гидролиза гемицеллюлоз и лигнина.

Оптимальное количество пероксида водорода, при котором прочность материала оказывается наибольшей, зависит от жесткости условий баротермической обработки. Для выполненной серии экспериментов характерна тенденция линейного уменьшения оптимального количества пероксида водорода с увеличением продолжительности баротермической обработки и/или ее температуры (рис. 8). Получение композитного материала с максимальной прочностью (~ 50 МПа) при наименьшем количестве пероксида водорода

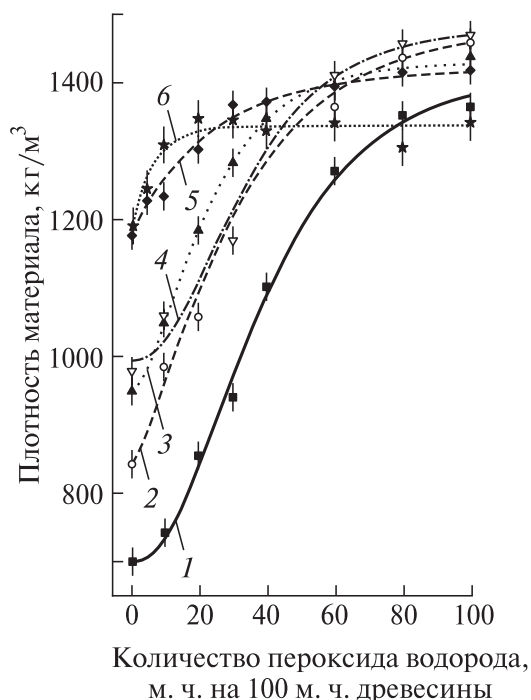


Рис. 5. Зависимость плотности композитного материала от количества пероксида водорода на стадии предварительной обработки древесины для разных условий фактора жесткости взрывного автогидролиза: 1 — 575 мин; 2 — 1133 мин; 3 — 1726 мин; 4 — 2230 мин; 5 — 3400 мин; 6 — 4466 мин

Fig. 5. Dependence of composite material density on the amount of hydrogen peroxide, at the stage of wood pretreatment for different conditions of explosive auto-hydrolysis stiffness factor: 1 — 575 min; 2 — 1133 min; 3 — 1726 min; 4 — 2230 min; 5 — 3400 min; 6 — 4466 min

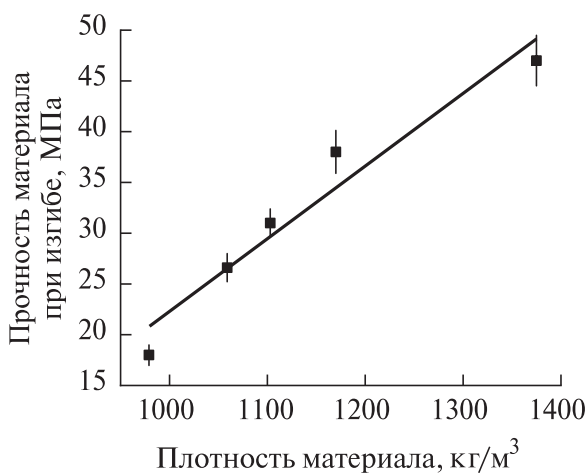


Рис. 6. Зависимость прочности при статическом изгибе композитного материала, полученного при использовании до 40 м. ч. пероксида водорода на 100 м. ч. древесины, от его плотности. Температура баротермической обработки 463К, продолжительность 5 мин (фактор жесткости 2230 мин)

Fig. 6. Dependence of static bending strength on the density of the composite material obtained by using up to 40 m.p.h. of hydrogen peroxide per 100 m.p.h. of wood. Barothermal treatment temperature 463K, duration 5 min (hardness factor 2230 min)

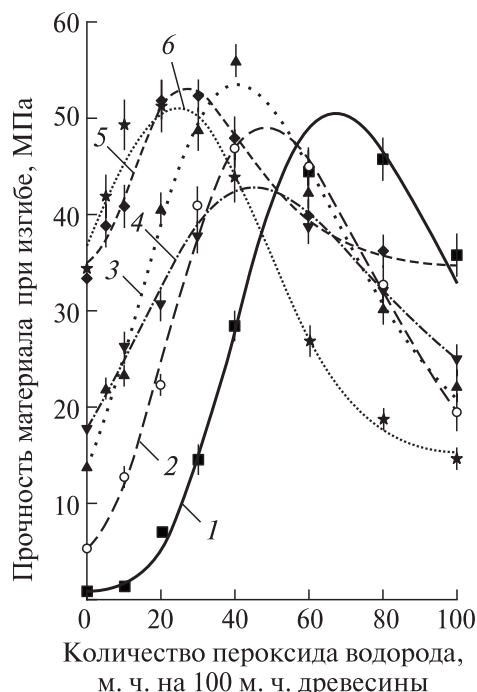


Рис. 7. Зависимость прочности при статическом изгибе композитного материала от количества пероксида водорода на стадии предварительной обработки древесины для разных условий фактора жесткости взрывного автогидролиза: 1 — 575 мин; 2 — 1133 мин; 3 — 1726 мин; 4 — 2230 мин; 5 — 3400 мин; 6 — 4466 мин

Fig. 7. Dependence of static bending strength of composite material on the amount of hydrogen peroxide at the stage of wood pretreatment for different conditions of explosive autohydrolysis stiffness factor: 1 — 575 min; 2 — 1133 min; 3 — 1726 min; 4 — 2230 min; 5 — 3400 min; 6 — 4466 min

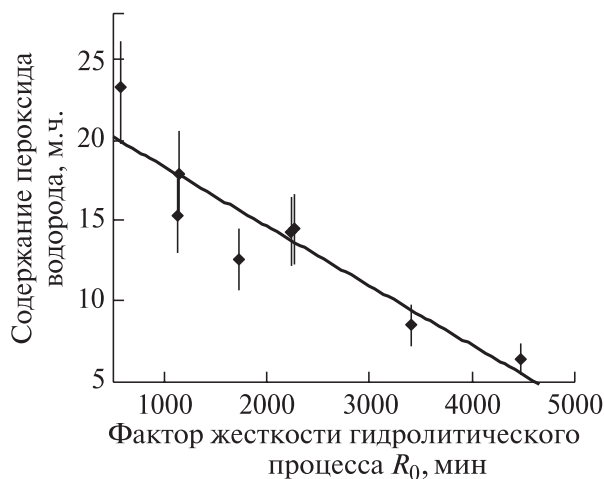


Рис. 8. Зависимость оптимального количества пероксида водорода от жесткости условий взрывного автогидролиза

Fig. 8. Dependence of the optimal amount of hydrogen peroxide on the hardness of explosive autohydrolysis conditions

(~ 20 м. ч.) обеспечивается в условиях фактора жесткости 4466 мин, что соответствует баротермической обработке при 463К в течение 10 мин.

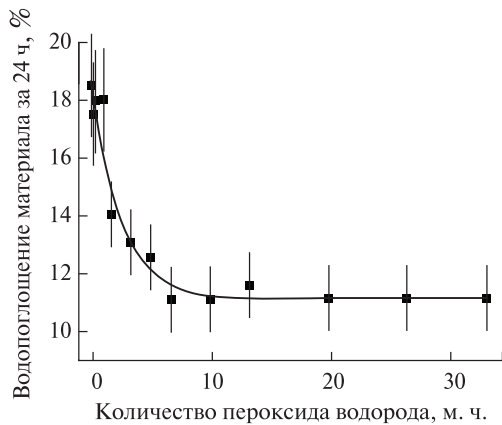


Рис. 9. Зависимость водопоглощения композитного материала за 24 ч от количества пероксида водорода. Баротермическая обработка 10 мин при температуре 463К (фактор жесткости 4466 мин)

Fig. 9. Dependence of composite material water absorption in 24 hours on the amount of hydrogen peroxide. Barothermal treatment 10 min at 463K (hardness factor 4466 min)

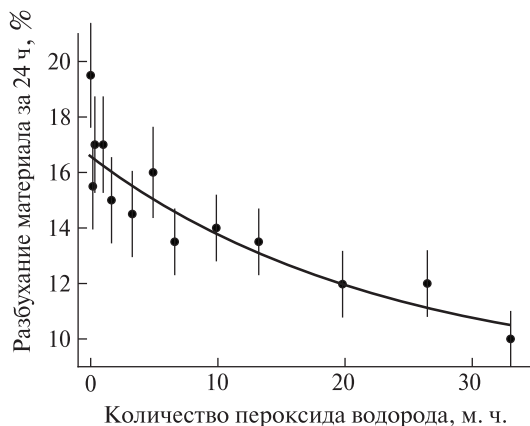


Рис. 10. Зависимость разбухания композитного материала за 24 ч от количества пероксида водорода. Баротермическая обработка 10 мин при температуре 463К (фактор жесткости 4466 мин)

Fig. 10. Dependence of the composite material swelling in 24 h on the amount of hydrogen peroxide. Barothermal treatment 10 min at 463K (hardness factor 4466 min)

Похожий эффект также можно достичь при температуре баротермической обработки 453К и продолжительности 15 мин (фактор жесткости 3400 мин). В представленной серии диапазон оптимального количества пероксида водорода для разных условий автогидролиза составляет от 15 до 75 м. ч. Для мягких условий взрывного автогидролиза, например при температуре 443К и продолжительности 5 мин, проявление влияния добавки пероксида водорода прослеживается лишь от 9 м. ч. Последующее увеличение количества реагента приводит к резкой интенсификации гидролитических процессов и, как следствие, к увеличению плотности и прочностных характеристик. Характерно, что максимальное значение прочно-

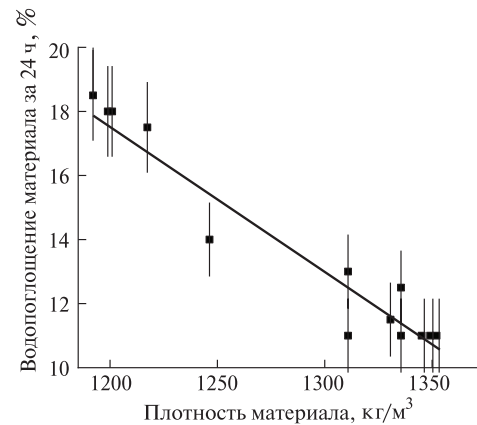


Рис. 11. Зависимость водопоглощения композитного материала за 24 ч от его плотности. Баротермическая обработка 10 мин при температуре 463К (фактор жесткости 4466 мин)

Fig. 11. Dependence of composite material water absorption for 24 h on its density. Barothermal treatment 10 min at 463K (hardness factor 4466 min)

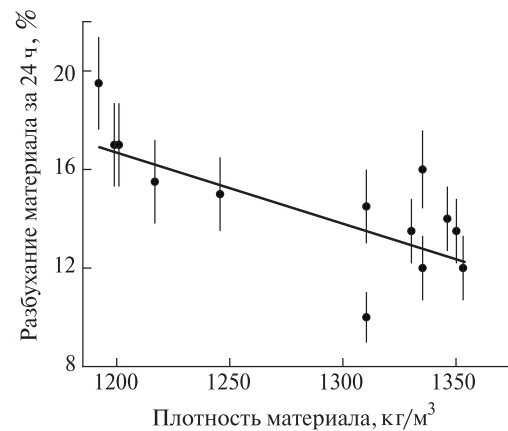


Рис. 12. Зависимость разбухания композитного материала за 24 ч от его плотности. Баротермическая обработка 10 мин при температуре 463К (фактор жесткости 4466 мин)

Fig. 12. The dependence of the composite material swelling for 24 h on its density. Barothermal treatment 10 min at 463K (hardness factor 4466 min)

сти у каждого из образцов коррелирует с уровнем начала стабилизации плотности материала.

Определение водопоглощения и разбухания за 24 ч выполнено для материала, полученного после обработки древесины при температуре 463К в течение 10 мин (фактор жесткости 4466 мин). Из полученных результатов следует (рис. 9), что увеличение количества пероксида водорода до 20 м. ч. приводит к резкому уменьшению водопоглощения — до 50 % этого показателя у контрольного образца, полученного без использования пероксида водорода. Снижение разбухания (рис. 10) выражено в меньшей степени и составляет около 30 %. Кривая зависимости разбухания от количества пероксида водорода является более

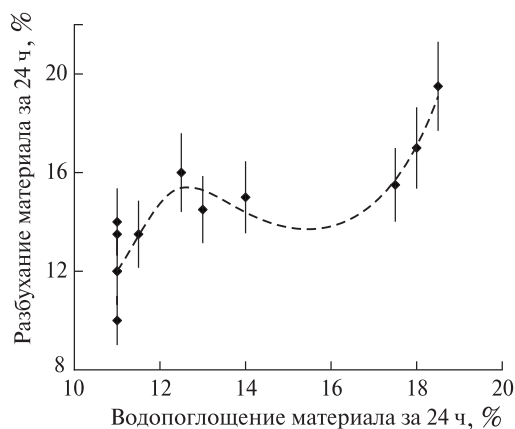


Рис. 13. Зависимость разбухания композитного материала от его водопоглощения. Баротермическая обработка 10 мин при температуре 463К (фактор жесткости 4466 мин)

Fig. 13. Dependence of composite material swelling on its water absorption. Barothermal treatment 10 min at 463K (hardness factor 4466 min)

плавной. Обе зависимости являются обратно экспоненциальными, но при этом демонстрируют неодинаковую динамику. В то время как водопоглощение коррелирует с изменением плотности по закону, близкому к линейному (рис. 11), для разбухания подобная зависимость оказывается не столь явной (рис. 12). Таким образом, изменение разбухания материала не синхронизировано с изменением его плотности. Подобное поведение материала может быть следствием различий в количестве и структуре пространственных связей между компонентами композитного материала, полученного в разных условиях взрывного автогидролиза. Связь между разбуханием и водопоглощением для образцов такого материала имеет сложный нелинейный характер (рис. 13).

Выводы

Использование пероксида водорода в качестве гидролизующего вещества при обработке древесины березы методом взрывного автогидролиза оказывает влияние на интенсивность и глубину гидролитических превращений в компонентах древесного комплекса. Физико-механические характеристики композитного материала, получаемого из гидролизованной древесины, в значительной степени зависят от количества используемого при ее обработке пероксида водорода, температуры и продолжительности взрывного автогидролиза. Следствием первоначального увеличения количества пероксида водорода и/или жесткости условий баротермической обработки древесины является интенсивное увеличение плотности и прочности при изгибе композитного материала, сопровождаемое значительным уменьшением водопоглощения и разбухания по толщине. Даль-

нейшее увеличение количества пероксида водорода приводит к доминированию деструктивных процессов в компонентах древесины, определяющих формирование конденсационных связей в структуре получаемого композитного материала. При этом прочностные характеристики материала могут значительно ухудшиться, а плотность и гидрофобные свойства остаются без выраженной зависимости от количества используемого при обработке пероксида водорода. Варьирование указанными технологическими параметрами позволяет получать композитный материал в достаточно широком диапазоне свойств. Представленные результаты можно использовать в качестве критериев оптимизации технологических параметров получения композитного материала на основе гидролизованной древесины.

Оптимальным диапазоном параметров процесса получения композитного материала с наилучшими физико-механическими характеристиками следует считать:

- количество пероксида водорода в качестве гидролизующего вещества на стадии предварительной обработки технологической щепы березы — от 20 до 30 м. ч. на 100 м. ч. древесины;
- фактор жесткости процесса баротермической обработки методом взрывного автогидролиза — от 3400 до 4466 мин.

При использовании соответствующих технологических режимов физико-механические характеристики получаемого композитного материала находятся в следующих диапазонах:


- плотность — от ~ 1100 до ~ 1350 кг/м³;
- прочность при статическом изгибе — от ~ 35 до ~ 55 МПа;
- водопоглощение за 24 ч — от ~ 11 до ~ 18 %;
- разбухание за 24 ч — от ~ 10 до ~ 18 %.

Использование пероксида водорода в качестве вещества, интенсифицирующего гидролитические процессы в компонентах древесины при получении на их основе композитных материалов, может обладать преимуществом по сравнению с применением реагентов иного рода. Пероксид водорода является нестойким веществом. При высоких значениях температур, свойственных стадиям баротермической обработки древесины и горячего прессования композитного материала, происходит ее разложение на простые компоненты — кислород и воду. В отличие от более устойчивых минеральных кислот и прочих гидролизующих веществ этим уменьшается вероятность присутствия пероксида водорода в готовом композитном материале. Соответственно, снижается вероятность деструктирующего действия гидролизующего вещества в процессе эксплуатации композитных материалов и изделий, получаемых на их основе.

Список литературы

- [1] Oktay S., Kızılcan N., & Bengu B. Oxidized cornstarch — Urea wood adhesive for interior particleboard production // *International J. of Adhesion and Adhesives*, 2021, vol. 110, p. 102947. DOI:10.1016/j.ijadhadh.2021.102947
- [2] Singh N., Rana A., Badhotiya G.K. Raw material particle terminologies for development of engineered wood // *Materials Today: Proceedings*, 2021. DOI:10.1016/j.matpr.2021.02.616
- [3] Uemura Silva V., Nascimento M.F., Resende Oliveira P., Panzera T.H., Rezende M.O., Silva D.A.L., Christoforo A.L. Circular vs. linear economy of building materials: A case study for particleboards made of recycled wood and biopolymer vs. conventional particleboards // *Construction and Building Materials*, 2021, vol. 285, p. 122906. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2021.122906
- [4] Steam explosion for biomass pre-treatment. Danish technological institute. Energy & Climate Centre for Renewable Energy and Transport Section for Biomass, 2013, p.15.
- [5] Yuan-Zong Lai Wood and Wood Products // *Handbook of Industrial Chemistry and Biotechnology*, 2017, p. 215. DOI: 10.1007/978-3-319-52287-6_5
- [6] Скурыдин Ю.Г., Скурыдина Е.М., Сафин Р.Г., Хабибуллина А.Р. Физико-механические характеристики термодеревесной композиции из древесины сосны при баротермической обработке // *ИВУЗ Лесной журнал*, 2021. № 2. С. 143–155. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-2-143-155
- [7] Старцев О.В. Салин Б.Н., Скурыдин Ю.Г. Баротермический гидролиз древесины в присутствии минеральных кислот // *Доклады академии наук. Химическая технология*, 2000. Т. 370. № 5. С. 638–641.
- [8] Скурыдин Ю.Г. Структура и свойства композиционных материалов, полученных из отходов древесины после взрывного гидролиза: дис. ... канд. техн. наук.: 05.23.05. Барнаул, 2000. 147с.
- [9] Heitz M., Capek-Ménard E., Koeberle P.G., Gagné J., Chornet E., Overend R.P., Taylor J.D., Yu E. Fractionation of *Populus tremuloides* at the pilot plant scale: Optimization of steam pretreatment conditions using the STAKE II technology // *Bioresource Technology*, 1991, vol. 35, pp. 23–32. DOI:10.1016/0960-8524(91)90078-X
- [10] Iogen Corporation. URL: <https://www.iogen.ca/iogen-technology> (дата обращения 12.12.2021).
- [11] Jollez P., Chornet E., and Overend R.P. Steam-aqueous fractionation of sugar cane bagasse: an optimization study of process conditions at the pilot plant level, in *Advances in Thermomechanical Biomass Conversion*, ed. A.V. Bridgwater, Blackie Academic and Professional, London, 1994, pp. 1659-1669.
- [12] Mason W.H. Low-temperature explosion process of disintegrating wood and the like US Patent 1586159 (USA). 1926.
- [13] Mason W.H. Process and apparatus for disintegration of wood and the like. US Patent 1578609 (USA). 1926.
- [14] Shijie Liu. A synergetic pretreatment technology for woody biomass conversion // *Applied Energy*, 2015, v. 144, pp. 114–128. DOI: 10.1016/j.apenergy.2015.02.021
- [15] Скурыдин Ю.Г., Скурыдина Е.М. Влияние условий взрывного автогидролиза на химический состав и физико-механические характеристики композиционных материалов, получаемых из древесины лиственницы сибирской // *Хвойные бореальной зоны*, 2021. Т. 39. № 3. С. 216–223.
- [16] Коньшин В.В., Протопопов А.В., Ефрушин Д.Д. Химическая переработка биомассы растительного сырья // *Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова*, 2017. № 3 (43). С. 63–66.
- [17] Ширяев Д.В. Теплоизоляционные материалы на основе модифицированных методом взрывного автогидролиза отходов растительного происхождения: дис. ... канд. техн. наук : 05.21.03. Сиб. гос. технол. ун-т. Барнаул, 2013. 146 с.
- [18] Fockink D.H., Sánchez J.H., Ramos L.P. Comprehensive analysis of sugarcane bagasse steam explosion using autocatalysis and dilute acid hydrolysis (H_3PO_4 and H_2SO_4) at equivalent combined severity factors // *Industrial Crops and Products*, 2018, v. 123, pp. 563–572. DOI: 10.1016/j.indcrop.2018.07.017
- [19] Wenjie Sui, Mengjia Zhou, Yi Xu, Guanhua Wang, Xiaoling Lv Hydrothermal deglycosylation and deconstruction effect of steam explosion: Application to high-valued glycyrrhizic acid derivatives from liquorice // *Food Chemistry*, 2020, v. 307, p. 125558. DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.125558
- [20] YuTong Han, JiFei Xu, ZhiMin Zhao, Ji Zhao Analysis of enzymolysis process kinetics and estimation of the resource conversion efficiency to corn cobs with alkali soaking, water and acid steam explosion pretreatments // *Bioresource Technology*, 2018, v. 264, pp. 391–394. DOI: 10.1016/j.biortech.2018.06.045
- [21] Ho Mun Chun, Ong Victor Zhenquan, Wu Ta Yeong. Potential use of alkaline hydrogen peroxide in lignocellulosic biomass pretreatment and valorization — A review // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, 2019, vol. 112(C), pp. 75–86. DOI: 10.1016/j.rser.2019.04.082
- [22] Overend R.P., Chornet E. Fractionation of lignocellulosics by steam aqueous pretreatments // *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 1987, v. 321, no. 1561, pp. 523–536.
- [23] Скурыдин Ю.Г., Скурыдина Е.М., Сафина А.В., Хабибуллина А.Р. Фактор жесткости взрывного автогидролиза // *Деревообрабатывающая промышленность*, 2019. № 4. С. 69–78.
- [24] ГОСТ 10634–88 Плиты древесностружечные. Методы определения физических свойств. М.: Издательство стандартов, 1988. 8 с.
- [25] ГОСТ 10635–88 Плиты древесностружечные. Методы определения предела прочности и модуля упругости при изгибе. М.: Издательство стандартов, 1988. 8 с.
- [26] ГОСТ 10633–2018 Плиты древесно-стружечные и древесно-волокнистые. Общие правила подготовки и проведения физико-механических испытаний. М.: ИПК Издательство стандартов, 2018. 12 с.

Сведения об авторах

Скурыдин Юрий Геннадьевич  — канд. техн. наук, доцент кафедры вычислительной техники и электроники ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет», skur@rambler.ru

Скурыдина Елена Михайловна — канд. техн. наук, доцент кафедры информационных технологий ФГБОУ ВО «Алтайский государственный педагогический университет», skudem@rambler.ru

Поступила в редакцию 24.01.2022.

Одобрено после рецензирования 18.03.2022.

Принята к публикации 18.05.2022.

BIRCHWOOD PRE-HYDROLYTIC TREATMENT EFFECT ON PHYSICAL AND MECHANICAL CHARACTERISTICS OF COMPOSITE MATERIAL OBTAINED ON ITS BASIS

Yu.G. Skurydin¹ , E.M. Skurydina²

¹Altai State University, 61, Lenin av., 656049, Barnaul, Russia

²Altai State Pedagogical University, 55, Molodezhnaya st., 656031, Barnaul, Russia

skur@rambler.ru

The effects of the birch wood pretreatment with hydrogen peroxide and its subsequent treatment by explosive autohydrolysis on the density, strength in static bending, water absorption and swelling of a composite material obtained on the basis of hydrolyzed wood pulp by hot pressing without the addition of binders are presented. The dependences of the density of the samples, their strength and hydrophobic characteristics on the amount used in the processing of hydrogen peroxide and the conditions of explosive autohydrolysis have been established. The threshold limit of hydrogen peroxide for each of the modes of explosive hydrolysis has been determined.

Keywords: explosive autohydrolysis, birch wood, composite material, strength, density, hydrophobic properties, hydrogen peroxide

Suggested citation: Skurydin Yu.G., Skurydina E.M. *Vliyanie predgidroliticheskoy obrabotki drevesiny na fiziko-mekhanicheskie harakteristiki kompozitnogo materiala, poluchaemogo na ee osnove* [Birchwood pre-hydrolytic treatment effect on physical and mechanical characteristics of composite material obtained on its basis]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 4, pp. 103–112. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-4-103-112

References

- [1] Oktay S., Kizilcan N., & Bengu B. Oxidized cornstarch — Urea wood adhesive for interior particleboard production. *International J. of Adhesion and Adhesives*, 2021, vol. 110, p. 102947. DOI:10.1016/j.ijadhadh.2021.102947
- [2] Singh N., Rana A., Badhotiya G.K. Raw material particle terminologies for development of engineered wood. *Materials Today: Proceedings*, 2021. DOI:10.1016/j.matpr.2021.02.616
- [3] Uemura Silva V., Nascimento M.F., Resende Oliveira P., Panzera T.H., Rezende M.O., Silva D.A.L., Christoforo A.L. Circular vs. linear economy of building materials: A case study for particleboards made of recycled wood and biopolymer vs. conventional particleboards. *Construction and Building Materials*, 2021, vol. 285, p. 122906. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2021.122906
- [4] Steam explosion for biomass pre-treatment. Danish technological institute. Energy & Climate Centre for Renewable Energy and Transport Section for Biomass, 2013, p.15.
- [5] Yuan-Zong Lai Wood and Wood Products. *Handbook of Industrial Chemistry and Biotechnology*, 2017, p. 215. DOI: 10.1007/978-3-319-52287-6_5
- [6] Skurydin Yu.G., Skurydina E.M., Safin R.G., Khabibullina A.R. *Fiziko-mekhanicheskie kharakteristiki termodrevesnoy kompozitsii iz drevesiny sosny pri barotermicheskoy obrabotke* [Physical and Mechanical Characteristics of a Pine Thermowood Composition during Barothermal Treatment]. *Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal)*, 2021, no. 2, pp. 143–155. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-2-143-155
- [7] Startsev O.V. Salin B.N., Skurydin Yu.G. *Barotermicheskiy gidroliz drevesiny v prisutstvii mineral'nykh kislot* [Hydrolysis of Wood in the Presence of Mineral Acids] *Doklady akademii nauk. Himicheskaya tekhnologiya* [Reports of the Academy of Sciences. Chemical Technology], 2000, t. 370, no. 5, pp. 638–641.
- [8] Skurydin Yu.G. *Stroenie i svoystva kompozitsionnykh materialov, poluchennykh iz otkhodov drevesiny posle vzryvnogo gidroliza* [Structure and properties of composite materials obtained from waste wood after the explosive hydrolysis]. *Dis. ... Cand. Sci. (Tech.)*. Altai State Technical University, 2000, 147 p.
- [9] Heitz M., Capek-Ménard E., Koeberle P.G., Gagné J., Chornet E., Overend R.P., Taylor J.D., Yu E. Fractionation of *Populus tremuloides* at the pilot plant scale: Optimization of steam pretreatment conditions using the STAKE II technology. *Bioresource Technology*, 1991, v. 35, pp. 23–32. DOI:10.1016/0960-8524(91)90078-X
- [10] Iogen Corporation. Available at: <https://www.ioген.ca/iogen-technology> (accessed 12.12.2021).
- [11] Jollez P., Chornet E., and Overend R.P. Steam-aqueous fractionation of sugar cane bagasse: an optimization study of process conditions at the pilot plant level, in *Advances in Thermomechanical Biomass Conversion*, ed. A.V. Bridgwater, Blackie Academic and Professional, London, 1994, pp. 1659–1669.

- [12] Mason W.H. Low-temperature explosion process of disintegrating wood and the like US Patent 1586159 (USA), 1926.
- [13] Mason W.H. Process and apparatus for disintegration of wood and the like. US Patent 1578609 (USA), 1926.
- [14] Shijie Liu. A synergetic pretreatment technology for woody biomass conversion. *Applied Energy*, 2015, v. 144, pp. 114–128. DOI: 10.1016/j.apenergy.2015.02.021
- [15] Skurydin Yu.G., Skurydina E.M. *Vliyaniye usloviy vzryvnogo avtogidroliza na khimicheskiy sostav i fiziko-mekhanicheskie kharakteristiki kompozitsionnykh materialov, poluchaemykh iz drevesiny listvennitsy sibirskoy* [Influence of explosive autohydrolysis conditions on the chemical composition and physical and mechanical characteristics of composite materials obtained from siberian larch wood]. *Khvoynye boreal'noy zony* [Conifers of the boreal area]. 2021, v. XXXIX, no. 3, pp. 216–223.
- [16] Kon'shin V.V., Protopopov A.V., Efyushin D.D. *Khimicheskaya pererabotka biomassy rastitel'nogo syr'ya* [Chemical processing of biomass of plant materials]. *Izvestiya Kyrgyzskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. I. Razzakova* [Bulletin of the Kyrgyz State Technical University. I. Razzakova them. I. Razzakova], 2017, no. 3 (43), pp. 63–66.
- [17] Shiryayev D.V. *Teploizolyatsionnye materialy na osnove modifitsirovannykh metodom vzryvnogo avtogidroliza otkhodov rastitel'nogo proiskhozhdeniya* [Thermal insulation materials based on plant waste modified by explosive autohydrolysis method]. Dis. Cand. Sci. (Tech.). Siberian State Technological University. Barnaul, 2013, 146 p.
- [18] Fockink D.H., Sánchez J.H., Ramos L.P. Comprehensive analysis of sugarcane bagasse steam explosion using autocatalysis and dilute acid hydrolysis (H₃PO₄ and H₂SO₄) at equivalent combined severity factors. *Industrial Crops and Products*, 2018, v. 123, pp. 563–572. DOI: 10.1016/j.indcrop.2018.07.017
- [19] Wenjie Sui, Mengjia Zhou, Yi Xu, Guanhua Wang, Xiaoling Lv Hydrothermal deglycosylation and deconstruction effect of steam explosion: Application to high-valued glycyrrhizic acid derivatives from liquorice. *Food Chemistry*, 2020, v. 307, p. 125558. DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.125558
- [20] YuTong Han, JiFei Xu, ZhiMin Zhao, Ji Zhao Analysis of enzymolysis process kinetics and estimation of the resource conversion efficiency to corn cobs with alkali soaking, water and acid steam explosion pretreatments. *Bioresource Technology*, 2018, v. 264, pp. 391–394. DOI: 10.1016/j.biortech.2018.06.045
- [21] Ho Mun Chun, Ong Victor Zhenquan, Wu Ta Yeong. Potential use of alkaline hydrogen peroxide in lignocellulosic biomass pretreatment and valorization — A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, 2019, vol. 112(C), pp. 75–86. DOI: 10.1016/j.rser.2019.04.082
- [22] Overend R.P., Chornet E. Fractionation of lignocellulosics by steam aqueous pretreatments. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 1987, v. 321, no. 1561, pp. 523–536.
- [23] Skurydin Yu.G., Skurydina E.M., Safina A.V., Khabibullina A.R. *Faktor zhestkosti vzryvnogo avtogidroliza* [The Factor of Rigidity of Explosive Autohydrolysis]. *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'* [Woodworking industry], 2019, no. 4, pp. 69–78.
- [24] GOST 10634–88. *Plity drevesnostruzhechnye. Metody opredeleniya fizicheskikh svoystv*. [State Standard 10634–88. Wood particle boards. Methods of determination of physical properties]. Moscow, Publ.Standart, 1988, 8 p.
- [25] GOST 10635–88. *Plity drevesnostruzhechnye. Metody opredeleniya fizicheskikh svoystv*. [State Standard 10635–88. Particle boards. Methods for determining of ultimate strength and modulus of elasticity in bending]. Moscow: Publ. Standart, 1988, 8 p.
- [26] GOST 10633–2018. *Plity drevesno-struzhechnye i drevesno-voloknistye. Obshchie pravila podgotovki i provedeniya fiziko-mekhanicheskikh ispytaniy* [State Standard 10633–2018. Wood-shaving and wood-fiber plates. General regulations in testing physical and mechanical properties]. Moscow, Standartinform Publ., 2018. 12 p.

Authors' information

Skurydin Yuriy Gennad'evich✉ — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Altai State University, skur@rambler.ru

Skurydina Elena Mikhaylovna — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Altai State Pedagogical University, skudem@rambler.ru

Received 24.01.2022.

Approved after review 18.03.2022.

Accepted for publication 18.05.2022.

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

КЛИМАТ ПЛАНЕТЫ И ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ И СОТРУДНИЧЕСТВА

Г.И. Кольниченко✉, Я.В. Тарлаков, М.С. Усачев

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

Проанализировано влияние различных факторов (включая антропогенный) на климат планеты и переход к безуглеродной энергетике с рассмотрением последствий введения трансграничного углеродного регулирования для экономики России. Рассмотрены возможности России в деле сотрудничества с Западом по развитию «зеленой энергетике». Указано, что Россия как крупнейшая лесная держава, совершенствуя свою систему природопользования, должна устранить, прежде всего, грубейшие ошибки, допущенные в последние десятилетия по реализации этой системы.

Ключевые слова: гарь, деуглеризация, климатическое потепление, «зеленая энергетика», новый технологический уклад, антропогенный фактор

Ссылка для цитирования: Кольниченко Г.И., Тарлаков Я.В., Усачев М.С. Климат планеты и проблемы энергетического развития и сотрудничества // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 4. С. 113–118. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-4-113-118

Взаимосвязь погодно-климатических условий и энергетики всегда была в поле зрения мировых информационных агентств. Провозгласив «зеленую» энергетiku как эффективное средство борьбы с климатическим потеплением, США вынуждают страны Евросоюза перейти на возобновляемые источники энергии (в основном солнечной и ветровой). Так, в России и за рубежом появилось множество противоречивых материалов на эту тему [1–21].

Цель работы

Цель работы — анализ сложной информационной разногласности в оценке взаимосвязи климата и энергетики и обозначение основных путей и условий энергетического развития и сотрудничества как в мировом масштабе, так и в России.

Результаты и обсуждение

На международных встречах по климату были объявлены предложения по введению в Евросоюзе (ЕС) трансграничного углеродного регулирования. Десятки стран выразили намерение перейти с ископаемых углеродных источников на возобновляемые источники энергии (ВИЭ). Процесс деуглеризации (т. е. декарбонизации) масштабно был запущен уже на Парижской Конференции ООН по изменению климата в 2015 г. (далее — Конференция). Напомним, что Парижское соглашение, принятое на этой Конференции, в качестве главной проблемы выдвигало достижение 2,0, а позднее 1,5-градусного порога повышения среднегодовой температуры на планете.

Однако в течение последних нескольких лет основным стал низкоуглеродный аспект развития мировой экономики. Предполагается, что с 2023 г. Российские экспортеры продукции при производстве которой выделяется парниковый газ, должны будут уплачивать ЕС миллиарды долларов налога. Будут установлены лимиты выброса диоксида углерода, которые ныне активно разрабатываются Международным валютным фондом (МВФ) при содействии крупнейших финансовых институтов Запада (без участия России). В связи с этим изменится структура спроса на высокоуглеродные товары на внешних рынках, что существенно повлияет на российскую экономику в ближайшие годы, так как значительная доля экспорта России (сегодня и в перспективе на десятилетия) — это уголь, нефть, газ, металлы, удобрения, производство и потребление которых связаны с большим количеством парниковых выбросов диоксида углерода.

По этому поводу появляется настороженность, вызванная столь поспешными решениями в области деуглеризации, поскольку не все ученые поддерживают точку зрения о нынешнем потеплении климата в связи с увеличением выбросов диоксида углерода и других газов.

Авторитетные отечественные ученые указывают на доминирующую роль циклов солнечной активности в изменениях климата. Основной причиной наблюдаемого потепления они считают повышение интенсивности солнечного излучения, зафиксированное в продолжение всего XX в. В настоящее время солнечная активность стабилизировалась, и, как полагают многие, потепление может смениться похолоданием, которое

достигнет температурного минимума в 2050–2060 гг. Повышение температуры на 1 градус за столетие — это не более чем температурный всплеск на фоне долгосрочного понижения. Уровень «парникового эффекта» в атмосфере определяется солнечной энергией, поступающей на Землю. Любая даже слабая вспышка на Солнце намного сильнее может отразиться на изменении климата Земли, нежели деятельность человечества за десятки или даже сотни лет [22–24].

По мнению академика С.Ю. Глазьева, популярное на Западе утверждение об антропогенной причине потепления не является доказанным. Ученый считает, что переход на бескарбонную (т. е. безуглеродную) экономику позволит всего лишь на 0,3 % снизить действие совокупных антропогенных факторов на потепление климата [25].

Европейский подход к этой проблеме дает весомые основания подозревать Еврокомиссию в лоббировании коммерческих интересов транснациональных корпораций, контролирующей экономику Европы. По их заказу были организованы климатические и санитарные «истерии» (например, когда запрещали производство фреонов под предлогом борьбы с озоновыми «дырами»). Борьба с потеплением климата используется ими как механизм стимулирования нового технологического уклада, дает толчок к развитию новых производств в энергетике, сельском хозяйстве, обрабатывающей промышленности, приборостроении, транспорте и строительстве [22].

Россия на климатическом саммите 2021 г. согласилась с «зеленой» повесткой дня, требующей «декарбонизации» мировой экономики и перехода ее углеродных и углеводородных ископаемых на ВИЭ. Было отмечено, что надежной правовой основой для совместной работы государств по контролю и сокращению эмиссии парниковых газов должны служить договоренности, достигнутые по линии ООН, поскольку коллективный Запад намерен самостоятельно диктовать условия и правила «зеленого» мира без оглядки на ООН.

Как издавна утверждается, потепление климата влечет за собой множество угроз человечеству, в частности, ускоряет активизацию таяния ледников, провоцирует повышение уровня Мирового океана, а значит, и затопление территорий, что приведет к массовой миграции людей, но и вызовет исчезновение экосистем, приведет к дефициту питьевой воды, нарастанию противоречий и даже войн, которые могут начинаться ради обладания жизненно важными ресурсами. Поэтому ученые рекомендуют принимать меры по адаптации к таким последствиям на мировом, государственном и муниципальном уровне.

Россия вносит огромный вклад в абсорбирование глобальных атмосферных выбросов

как своих, так и чужих за счет поглощающей способности наших экосистем. Сегодня 45 % российского энергобаланса составляют низкоэмиссионные источники энергии, включающие в себя гидроэлектростанции и атомную генерацию. В своем выступлении на климатическом саммите президент России предложил считать не чистой эмиссию парниковых газов, а баланс их эмиссии и поглощения, что переводит всю дискуссию в принципиально иную плоскость.

Сотрудничество по климату с Западом только тогда будет справедливым и равноправным, когда будут учтены не только выбросы парниковых газов, но и их поглощение на территории каждой страны.

Россия имеет уникальные ресурсы и природные предпосылки для устранения предполагаемой климатической катастрофы. Для этого необходимы прорывные исследования факторов влияния на климат, эффективные и экономически оправданные финансовые и другие вложения в сокращение и предотвращение опасных для климатического равновесия атмосферных выбросов.

Россия предлагает коллективному Западу свое содействие в создании «зеленой» энергетики, но только на особых условиях, в качестве гаранта, освобожденного от налога на «угольный след» и страхующего неизбежные сбои «бескарбонных» (т. е. безуглеродных) энергосистем (на основе возобновляемых источников) поставками традиционных энергоносителей.

Основной прирост в производстве электроэнергии из возобновляемых источников сегодня обеспечивается солнечными и ветроэнергетическими установками. В Евросоюзе в 2020 г. на ветровых и солнечных электростанциях было выработано 20 % электроэнергии. Нидерланды и Германия 30–40 % своей потребности в электроэнергии закрывают за счет ВИЭ. Однако всем известно, что график выработки электроэнергии солнечными и ветровыми установками никто предсказать не может в принципе, так как мы до сих пор не научились управлять погодой и не имеем эффективных технических средств, позволяющих запасать в больших количествах электрическую энергию от ВИЭ.

Поэтому в случае внезапного прекращения ВИЭ-генерации следует иметь резервные энергетические мощности соответствующего масштаба, т. е. «зеленая» энергетика требует дублирования со стороны традиционной генерации (вспомним события зимы 2020 г., когда в США на штат Техас обрушилась снежная буря, от которой ветрогенераторы замерзли, что вызвало существенную нехватку электроэнергии в штате). Сегодня «зеленая» энергетика, как правило, субсидируется коммерчески выгодной традиционной энергетикой и дублируется ею.

Анализ истории мирового экономического развития отчетливо выявил закономерность: с каждым новым технологическим укладом происходит смена базового энергоносителя, в котором присутствует все меньшая доля углеводородов [25]. В энергетике уходящего технологического уклада рост энергопотребления обеспечивается природным газом, а в предыдущем укладе — нефтью, имеющей намного больший углеродный вес, до этого — углем. В новом технологическом укладе рост энергопотребления предполагается за счет ВИЭ и водорода в качестве моторного топлива.

Предлагаемый ЕС переход к безуглеродной экономике, несомненно, вписывается в закономерность долгосрочного мирового экономического развития, однако под предлогом борьбы с глобальным потеплением страны ЕС пытаются форсировать переход к новому технологическому укладу, чтобы сохранить конкурентоспособность своей экономики [23]. Россия, исходя из собственных интересов, должна строить свою экономику не только и не столько ради борьбы с глобальным потеплением, сколько для перевода собственной экономики на новый экономический уклад. При этом энергетика России должна развиваться по пути ее диверсификации и снижения зависимости экономики страны от нефти. Все богатые нефтью страны стремятся снизить экономическую зависимость от экспорта углеводородов, развивая низкоуглеродистую и водородную энергетику и делая экономику более современной и разносторонней. Европа еще не скоро сможет полностью отказаться от нефти и газа, но рассчитывать России на рост спроса в Европе на это сырье не следует.

Россия богата сырьевыми ресурсами, тем не менее необходимо перерабатывать собственное сырье так, чтобы основная часть добавленной стоимости оставалась в России. Поставляя на мировой рынок продукцию с высокой добавленной стоимостью наукоемких изделий, страна будет получать не природную ренту, как в настоящее время, а интеллектуальную ренту, которая в отличие от природной воспроизводится.

Что касается безуглеродной энергетики, то Россия должна наращивать свои преимущества в рамках глобальной компании по борьбе с парниковыми газами. Подходя системно к решению проблемы перехода на новый технологический уклад, Россия должна вводить научно обоснованную систему природопользования в целях форсированного восстановления лесов и повышения их коммерческой ценности.

Главным преимуществом России в реализации климатической повестки являются лесные угодья, которые (не говоря уже о почвах, реках, террито-

риальных водах) абсорбируют больше диоксида углерода, чем выбрасывают его промышленные предприятия. Важно исправлять ошибки, допущенные в нулевые годы, к которым прежде всего относится принятие нынешнего Лесного кодекса, уменьшившего численность служб охраны лесов и передавшего лесопользование в частные руки, что привело к распространению лесных пожаров в течение последних 20 лет, а это превращает лес из поглотителя углекислого газа в его производителя.

Устранение допущенных ошибок будет способствовать совершенствованию системы научно обоснованных платежей за загрязнение окружающей среды, поднятию мотивации к восстановлению лесных массивов и очистки атмосферы от вредных выбросов.

Выводы

Предполагаемое потепление климата планеты не доказано, однако его нельзя игнорировать, чтобы не быть застигнутыми врасплох его последствиями. Переход к безуглеродной энергетике (т. е. отказ от использования углеводородов в качестве топлива) вписывается в мировую тенденцию перехода к новому технологическому укладу.

Страны ЕС стремятся захватить лидерство в этой гонке, стараясь сохранить конкурентоспособность своей экономики. Россия готова сотрудничать с Западом в развитии «зеленой» энергетики, будучи освобожденной от налога на «углеродный след» и обеспечивая свои безуглеродные энергосистемы на основе ВИЭ поставками традиционных энергоносителей. Влияние антропогенного фактора глобального потепления не столь велико, чтобы форсировать деуглеризацию экономики, не учитывая возможности стран, не обладающих достаточными средствами для ее реализации.

Россия имеет огромные ресурсы и благоприятные природные условия для спасения планеты от прогнозируемой климатической катастрофы. Сотрудничество по климату с Западом будет равноправным и справедливым тогда, когда будут учитываться не только выбросы парниковых газов, но и их поглощение в пределах территории страны. Россия должна вводить комплексную научно обоснованную систему природопользования, устранить допущенные ранее грубые ошибки (в частности, принятие неудачного Лесного кодекса и отмена передовой на то время системы защиты окружающей среды и др.). Формулируя свою собственную климатическую повестку, Россия должна сделать ее составной частью системы стратегического планирования долгосрочного социально-экономического развития нашей страны.

Список литературы

- [1] Колтаков Н.О. Проект «зеленая энергетика» в странах ЕС: результаты и перспективы развития // Панорама, 2021. № 38. С. 77–84.
- [2] Дудников В.В. Решение проблемы негативного влияния выбросов CO₂ путем развития ВИЭ в топливно-энергетическом комплексе // Научно-исследовательские публикации, 2016. № 2(34). С. 127–130.
- [3] Tarkhanova E., Lyapunova E., Baburina N., Fricler A. The present and the future of Russian renewable energy in the green economy transition // E3S Web of Conferences: 1, Prague, 22–23 January 2021 года. Prague, 2021, p. 08003. DOI 10.1051/e3sconf/202125008003
- [4] Kayachev G., Chaplina A.N., Gerasimova E.A. Expanding of Green and Renewable Energy as a Condition for Economy Transition to Sustainable Development // E3S web of conferences: The Second Interregional Conference, Kemerovo, 21–23 сентября 2021 года. Kemerovo: Gorbachev Kuzbass State Technical University, 2021, p. 03015. DOI 10.1051/e3sconf/202127803015
- [5] Сайлидинов И.М., Момошева Г.А. Зеленая энергетика как основа энергетической безопасности городов // Вопросы устойчивого развития общества, 2020. № 3–2. С. 530–536. DOI 10.34755/IROK.2020.72.69.100
- [6] Dudin M.N., Frolova E.E., Artemeva Yu.A. Problems and Perspectives of BRICS Countries Transfer to «Green Economy» and Low-carbon Energy Industry // International J. of Energy Economics and Policy, 2016, v. 6, no. 4, pp. 714–720.
- [7] Вертакова Ю.В. Альтернативная энергетика. Развитие зеленой экономики в энергетике // Энергетическая безопасность: Сб. науч. статей II Междунар. молодежного конгр., Курск, 28–29 ноября 2017 года. Курск: Университетская книга, 2017. С. 24–26.
- [8] Антонова М.И., Телкова Е.А. Развитие «зеленой» энергетики в Российской Федерации: необходимость, риски и возможности // Экономика и инновации: Материалы межвузовской студ. науч.-практ. конф., Москва, 13–14 ноября 2017 года / под ред. С.Д. Валентя. М.: Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, 2017. С. 10–13.
- [9] Панарин А.А. Повышение экономической безопасности России через финансирование зеленой энергетики // Ключевые вызовы наступившего десятилетия: сб. материалов XX юбилейной междунар. науч.-практ. конф. «Смирновские чтения — 2021», Санкт-Петербург, 18 марта 2021 г., АНО ВО «Международный банковский институт имени Анатолия Собчака». СПб.: Изд-во Международного банковского института имени Анатолия Собчака, 2021. С. 251–261.
- [10] Крысанова Н.В. Новаторские подходы к использованию энергетических ресурсов: политико-правовые аспекты обеспечения «зеленой» энергетики // Социальные и гуманитарные науки. Отечественная и зарубежная литература. Серия 4: Государство и право, 2021. № 3. С. 109–117. DOI 10.31249/rgpravo/2021.03.08.
- [11] Круглова И.А. Зеленая энергетика и новая урбанистика: перспективы применения гибридных энергетических технологий в городском хозяйстве // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета, 2019. № 3(117). С. 86–91.
- [12] Ишмуратова А.Р., Зыков О.А. Возобновляемые источники энергии и перспектива их развития в России // Дневник науки, 2020. № 4(40). С. 44.
- [13] Nijssse F., Cox P.M., Huntingfort C. Williamson M. Decadal global temperature variability increases strongly with climate sensitivity // Nat. Clim. Change, 2019, v. 9, pp. 598–601. DOI: 10.1038/s41558-019-0527-4
- [14] Володин Е.М. Равновесная чувствительность модели климата к увеличению концентрации CO₂ в атмосфере при различных методах учета облачности // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана, 2021. Т. 57. № 2. С. 139–145.
- [15] Каткова К.А. Влияние «зеленой» энергетики на экономику России // Синергия наук, 2021. № 60. С. 236–241.
- [16] Хачатурова Э.Э., Хамицева Л.В. Переход на «зеленую» энергетiku в России // Гуманитарные и социально-экономические науки, 2021. № 3(118). С. 106–109. DOI 10.18522/1997-2377-2021-118-3-106-109
- [17] Политика государства по развитию альтернативной энергетики. URL: <https://www.gkh.ru/article/85977-politika-gosudarstva-po-razvitiyu-alternativnoy-energetiki> (дата обращения: 29.04.2022).
- [18] Клеандров М.И. Общие проблемные подходы к правовому регулированию отношений в сфере зеленой энергетики // Правовой энергетический форум, 2021. № 2. С. 14–21. DOI 10.18572/2312-4350-2021-2-14-21
- [19] Кожевин В.Д. Текущая ситуация и перспективы развития зеленой энергетики в России на примере показателя LCOE // Интерэкспо ГЕО-Сибирь, 2021. Т. 2. № 4. С. 264–269. DOI 10.33764/2618-981X-2021-2-4-264-269
- [20] Caine C.A. The race to the water for offshore renewable energy: assessing cumulative and in-combination impacts for offshore renewable energy developments // J. of environmental law, 2020, v. 32, pp. 83–109.
- [21] Farah P.D. Strategies to balance energy security, business, trade and sustainable development: selected case studies // J. of world energy law and business, 2020, v. 4, pp. 1–5. URL: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3658668 (дата обращения: 29.04.2022).
- [22] Хлопов О.А. Глобальные проблемы экологической безопасности и изменения климата в контексте международного сотрудничества // Тенденции развития науки и образования, 2019. № 53 (2). С. 68–74.
- [23] Кузьмин В. В чем смысл климатического психоза // Аргументы недели, 2021. № 31. С. 7-10.
- [24] World Bank Database: Climate Watch. 2020 GHG Emissions. Washington, DC: World Resources Institute. URL: climatewatchdata.org/ghg-emissions (дата обращения: 29.04.2022).
- [25] Глазьев С.Ю. Рынок в будущее. Россия в новых технологическом и мирохозяйственном укладах. М.: Книжный мир. 2019. 590 с.

Сведения об авторах

Кольниченко Георгий Иванович [✉] — д-р техн. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), g_kolnic@mail.ru

Тарлаков Яков Викторович — канд. техн. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), tarlakov@mgul.ac.ru

Усачев Максим Сергеевич — канд. техн. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), usachev@mgul.ac.ru

Поступила в редакцию 14.12.2021.

Одобрено после рецензирования 25.02.2022.

Принята к публикации 27.04.2022.

PLANET CLIMATE AND ENERGY DEVELOPMENT AND COOPERATION PROBLEMS

G.I. Kol'nichenko[✉], Y.V. Tarlakov, M.S. Usachev

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

g_kolnic@mail.ru

The article analyzes the influence of various factors (including anthropogenic ones) on the planet's climate and the transition to carbon-free energy, considering the consequences of the introduction of cross-border carbon regulation for the Russian economy. The possibilities of Russia in cooperation with the West on the development of «green energy» were considered. It was emphasized that Russia, as the largest forest power, while improving its environmental management system, must, first of all, eliminate the gross mistakes of the last decades in the implementation of this system.

Keywords: de-carbonization, climate warming, «green energy», new technological order, anthropogenic factor

Suggested citation: Kol'nichenko G.I., Tarlakov Y.V., Usachev M.S. *Klimat planety i problemy energeticheskogo razvitiya i sotrudnichestva* [Planet climate and energy development and cooperation problems]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 4, pp. 113–118. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-4-113-118

References

- [1] Koltakov N.O. *Proekt «zelenaya energetika» v stranakh ES: rezul'taty i perspektivy razvitiya* [The project «green energy» in the EU countries: results and development prospects]. *Panorama*, 2021, no. 38, pp. 77–84.
- [2] Dudnikov V.V. *Reshenie problemy negativnogo vliyaniya vybrosov SO₂ putem razvitiya VIE v toplivno-energeticheskom komplekse* [Solving the problem of the negative impact of CO₂ emissions through the development of renewable energy sources in the fuel and energy complex]. *Nauchno-issledovatel'skie publikatsii* [Research Publications], 2016, no. 2(34), pp. 127–130.
- [3] Tarkhanova E., Lyapunsova E., Baburina N., Fricler A. The present and the future of Russian renewable energy in the green economy transition. *E3S Web of Conferences: 1, Prague, 22–23 January 2021 года. Prague, 2021, p. 08003*. DOI 10.1051/e3sconf/202125008003
- [4] Kayachev G., Chaplina A.N., Gerasimova E.A. Expanding of Green and Renewable Energy as a Condition for Economy Transition to Sustainable Development. *E3S web of conferences: The Second Interregional Conference, Kemerovo, 21–23 сентября 2021 года. Kemerovo: Gorbachev Kuzbass State Technical University, 2021, p. 03015*. DOI 10.1051/e3sconf/202127803015
- [5] Saypidinov I.M., Momosheva G.A. *Zelenaya energetika kak osnova energeticheskoy bezopasnosti gorodov* [Green energy as a basis for the energy security of cities]. *Voprosy ustoychivogo razvitiya obshchestva* [Issues of sustainable development of society], 2020, no. 3–2, pp. 530–536. DOI 10.34755/IROK.2020.72.69.100
- [6] Dudin M.N., Frolova E.E., Artemeva Yu.A. Problems and Perspectives of BRICS Countries Transfer to «Green Economy» and Low-carbon Energy Industry. *International J. of Energy Economics and Policy*, 2016, v. 6, no. 4, pp. 714–720.
- [7] Vertakova Yu.V. *Alternativnaya energetika. Razvitie zelenoy ekonomiki v energetike* [Alternative energy. Development of a green economy in the energy sector]. *Energeticheskaya bezopasnost': Sbornik nauchnykh statey II Mezhdunarodnogo molodezhnogo kongressa* [Energy security: Collection of scientific articles of the II International Youth Congress], Kursk, November 28–29, 2017. Kursk: Universitetskaya kniga, 2017, pp. 24–26.
- [8] Antonova M.I., Telkova E.A. *Razvitie «zelenoy» energetiki v Rossiyskoy Federatsii: neobkhodimost', riski i vozmozhnosti* [Development of «green» energy in the Russian Federation: necessity, risks and opportunities]. *Ekonomika i innovatsii: Materialy mezhvuzovskoy studencheskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Economics and innovations: Proceedings of the interuniversity student scientific and practical conference], Moscow, November 13–14, 2017 / Ed. S.D. Valenteya. Moscow: Russian University of Economics named after G.V. Plekhanova, 2017, pp. 10–13.
- [9] Panarin A.A. *Povyshenie ekonomicheskoy bezopasnosti Rossii cherez finansirovanie zelenoy energetiki* [Improving the economic security of Russia through the financing of green energy]. *Klyuchevye vyzovy nastupivshogo desyatiletiya: sbornik materialov XX Yubileynoy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Smirnovskie chteniya — 2021»* [Key challenges of the coming decade: collection of materials of the XX Anniversary International Scientific and Practical Conference «Smirnov Readings — 2021»], St. Petersburg, March 18, 2021 ANO VO «Anatoly Sobchak International Banking Institute». St. Petersburg: Anatoly Sobchak International Banking Institute, 2021, pp. 251–261.
- [10] Krysanova N.V. *Novatorskie podkhody k ispol'zovaniyu energeticheskikh resursov: politiko-pravovye aspekty obespecheniya «zelenoy» energetiki* [Innovative approaches to the use of energy resources: political and legal aspects of providing «green» energy]. *Sotsial'nye i gumanitarnye nauki. Otechestvennaya i zarubezhnaya literatura. Seriya 4: Gosudarstvo i pravo* [Social and humanitarian sciences. Domestic and foreign literature. Series 4: State and Law], 2021, no. 3, pp. 109–117. DOI 10.31249/rgpravo/2021.03.08
- [11] Kruglova I.A. *Zelenaya energetika i novaya urbanistika: perspektivy primeneniya gibridnykh energeticheskikh tekhnologiy v gorodskom khozyaystve* [Green energy and new urban studies: prospects for the use of hybrid energy technologies in the urban economy]. *Izvestiya Sankt-Petersburgskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta* [Bulletin of the St. Petersburg State University of Economics], 2019, no. 3(117), pp. 86–91.
- [12] Ishmuratova A.R., Zykov O.A. *Vozobnovlyаемые источники энергии и перспектива их развития в России* [Renewable energy sources and the prospect of their development in Russia]. *Dnevnik nauki* [Diary of Science], 2020, no. 4(40), p. 44.
- [13] Nijssse F., Cox P.M., Huntingfort C., Williamson M. Decadal global temperature variability increases strongly with climate sensitivity. *Nat. Clim. Change*, 2019, v. 9, pp. 598–601. DOI: 10.1038/s41558-019-0527-4

- [14] Volodin E.M. *Ravnovesnaya chuvstvitel'nost' modeli klimata k uvelicheniyu kontsentratsii SO₂ v atmosfere pri razlichnykh metodakh ucheta oblachnosti* [Equilibrium sensitivity of the climate model to an increase in the concentration of CO₂ in the atmosphere with different methods of accounting for cloudiness]. *Izv. RAN. Fizika atmosfery i okeana* [Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Physics of the Atmosphere and Ocean], 2021, v. 57, no. 2, pp. 139–145.
- [15] Katkova K.A. *Vliyaniye «zelenoy» energetiki na ekonomiku Rossii* [The impact of «green» energy on the Russian economy]. *Sinerhiya nauk* [Synergy of sciences], 2021, no. 60, pp. 236–241.
- [16] Khachaturova E.E., Khamitseva L.V. *Perekhod na «zelenuyu» energetiku v Rossii* [Transition to «green» energy in Russia]. *Gumanitarnyye i sotsial'no-ekonomicheskie nauki* [Humanitarian and socio-economic sciences], 2021, no. 3(118), pp. 106–109. DOI 10.18522/1997-2377-2021-118-3-106-109
- [17] *Politika gosudarstva po razvitiyu al'ternativnoy energetiki* [State policy for the development of alternative energy]. Available at: <https://www.gkh.ru/article/85977-politika-gosudarstva-po-razvitiyu-alternativnoy-energetiki> (accessed 29.04.2022).
- [18] Kleandrov M.I. *Obshchie problemnye podkhody k pravovomu regulirovaniyu otnosheniy v sfere zelenoy energetiki* [General problematic approaches to the legal regulation of relations in the field of green energy]. *Pravovoy energeticheskiy forum* [Legal Energy Forum], 2021, no. 2, pp. 14–21. DOI 10.18572/2312-4350-2021-2-14-21
- [19] Kozhevnikov V.D. *Tekushchaya situatsiya i perspektivy razvitiya zelenoy energetiki v Rossii na primere pokazatelya LCOE* [The current situation and prospects for the development of green energy in Russia on the example of the LCOE indicator]. *Interexpo GEO-Sibir'* [Interexpo GEO-Siberia], 2021, v. 2, no. 4, pp. 264–269. DOI 10.33764/2618-981X-2021-2-4-264-269
- [20] Caine C.A. The race to the water for offshore renewable energy: assessing cumulative and in-combination impacts for offshore renewable energy developments. *J. of environmental law*, 2020, v. 32, pp. 83–109.
- [21] Farah P.D. Strategies to balance energy security, business, trade and sustainable development: selected case studies. *J. of world energy law and business*, 2020, v. 4, pp. 1–5. Available at: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3658668 (accessed 29.04.2022).
- [22] Khlopov O.A. *Global'nye problemy ekologicheskoy bezopasnosti i izmeneniya klimata v kontekste mezhdunarodnogo sotrudnichestva* [Global problems of environmental safety and climate change in the context of international cooperation]. *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya* [Trends in the development of science and education], 2019, no. 53 (2), pp. 68–74.
- [23] Kuz'min V. *V chem smysl klimaticheskogo psikhoza* [What is the meaning of climatic psychosis]. *Argumenty nedeli* [Argumenty Nedeli], 2021, no. 31, pp. 7–10.
- [24] World Bank Database: Climate Watch. 2020 GHG Emissions. Washington, DC: World Resources Institute. Available at: climatewatchdata.org/ghg-emissions (accessed 29.04.2022).
- [25] Glaz'ev S.Yu. *Ryvok v budushchee. Rossiya v novykh tekhnologicheskoy i mirokhozaystvennom ukladakh* [Leap into the future. Russia in the new technological and world economic structures]. Moscow: Knizhnyy mir [Book world], 2019, 590 p.

Authors' information

Kol'nichenko Georgiy Ivanovich✉ — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), g_kolnic@mail.ru

Tarлакoв Яков Виктоpович — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), tarlakov@mgul.ac.ru

Usachev Maksim Sergeevich — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), usachev@mgul.ac.ru

Received 14.12.2021.

Approved after review 25.02.2022.

Accepted for publication 27.04.2022.

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

ПЕРСПЕКТИВЫ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

О.В. Мурашова✉, Н.С. Главатских, П.Н. Перфильев, Н.О. Задраускайте

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

o.murashova@narfu.ru

На примере Красноборского района Архангельской области представлены перспективы использования порубочных остатков как сырья для производства топливных брикетов. Предложена технология заготовки древесных отходов и производства топливных брикетов. Разработаны схемы транспортировки лесосечных отходов к заводам производства брикетов и брикетов к источникам локальной энергетики.

Ключевые слова: лесозаготовительное производство, лесосечные отходы, топливные брикеты, локальная энергетика, логистическая схема доставки

Ссылка для цитирования: Мурашова О.В., Главатских Н.С., Перфильев П.Н., Задраускайте Н.О. Перспективы комплексного использования отходов лесозаготовительного производства // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 4. С. 119–127. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-4-119-127

Архангельская область — это регион Российской Федерации с наиболее развитой лесной промышленностью. Площадь региона составляет 330 103 км². Плотность населения невелика — 1,91 чел/км². При этом около 80 % составляет городское население, в удаленных от областного центра районах проживают 20 % населения. В силу сложившихся обстоятельств инфраструктура этих районов недостаточно хорошо развита. Одной из проблем является несовершенство структуры локальной энергетики. В большинстве населенных пунктов используются устаревшие системы теплоснабжения жилых домов или даже печное отопление. В таких районах целесообразно строительство новых локальных котельных.

Зачастую в этих районах активно ведется лесозаготовительная деятельность, в результате образуются лесосечные отходы: ветки, сучья, вершины, мелкие и надломленные деревья. Их можно использовать в проводимой здесь деятельности.

Одним из направлений применения порубочных остатков является их употребление в качестве сырья при производстве топливных брикетов.

Топливные брикеты — это новый экологически чистый вид топлива. Они обладают высокой теплотворной способностью, имеют низкую зольность, практически не оставляют нагара.

Цель работы

Цель работы — оценка перспектив использования порубочных остатков для производства топливных брикетов в целях локальной энергетики на примере Красноборского района Архангельской обл.

Материалы и методы

Топливные брикеты — это вид твердого топлива, в основе производства которого лежит процесс прессования измельченных в муку отходов деревопереработки. В качестве связующего вещества выступает лигнин, содержащийся в клетках древесины и выделяющийся при высоком давлении и нагревании.

Существует три типа топливных брикетов: RUF, NESTRO, Pini&Kay (рис. 1). Технология изготовления их различна, но все они отличаются высокой продолжительностью горения, теплотворностью и экологичностью [1–4].

В настоящее время разработаны производственные технологические линии для производства топливных брикетов (рис. 2) [5].

Линия брикетирования состоит из четырех участков: 1) измельчения крупных отходов; 2) сушки; 3) вторичного измельчения; 4) брикетирования. Производительность такой линии составляет 2,2 т/ч.

В ходе исследования была дана оценка возможного объема производства лесосечных отходов, рассмотрена технологическая схема их сбора и переработки в топливные брикеты и разработана логистическая схема транспортировки лесосечных отходов к пунктам переработки и топливных брикетов к пунктам теплоснабжения.

Результаты и обсуждение

На территории Красноборского района Архангельской обл. осуществляют деятельность несколько лесопромышленных предприятий. Наиболее значимые из них — лесозаготовительные предприятия АО «Группа Илим»



Рис. 1. Топливные брикеты RUF, NESTRO, Pini&Kay
Fig. 1. Fuel briquettes RUF, NESTRO, Pini&Kay

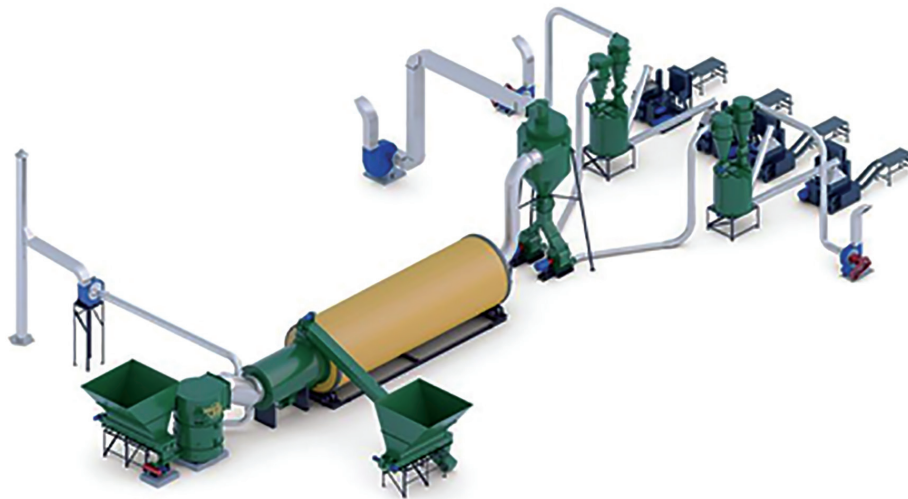


Рис. 2. Линия для производства древесных брикетов
Fig. 2. Wood briquettes production line

Т а б л и ц а 1

Лесозаготовительные предприятия (рис. 3)
Logging enterprises (Fig. 3)

Номер пункта вывозки	Заготовители	Фактическая заготовка древесины, м ³ /год	Объем лесосечных отходов, м ³ /мес
1	АО «Группа Илим»	179 975	2400
2	АО «Группа Илим»	171 549	2287
3	АО «Группа Илим»	10 910	145
4	АО «Группа Илим»	68 130	908
5	ООО «Красноборск Лес Пром»	19 049	254
6	ООО «Красноборск Лес Пром»	7432	99
7	ООО «Красноборск Лес Пром»	33 215	443
8	ООО «Красноборск Лес Пром»	13 648	182
9	ООО «Красноборск Лес Пром»	6779	90
10	ООО «Мегафлекс № 763»	14 937	199
11	ООО «МИАЛ»	4048	54
12	ООО «Ламбер-Д»	24 464	326
13	ООО «Группа компаний «УЛК»»	3455	46
14	ГАОУ СПО АО «КЛТ»	3254	43
15	ИП Брызгалов	1583	21
16	ИП Кувакин С.Н.	11 623	155
17	ИП Юрьев	13 498	180
18	ИП Джиджоев	10 093	135
19	ИП Юрьев А.А.	3495	47
20	ИП Байкалов С.Г.	1600	21
21	ЗАО «Лесозавод 25»	13 869	185
Всего			8221

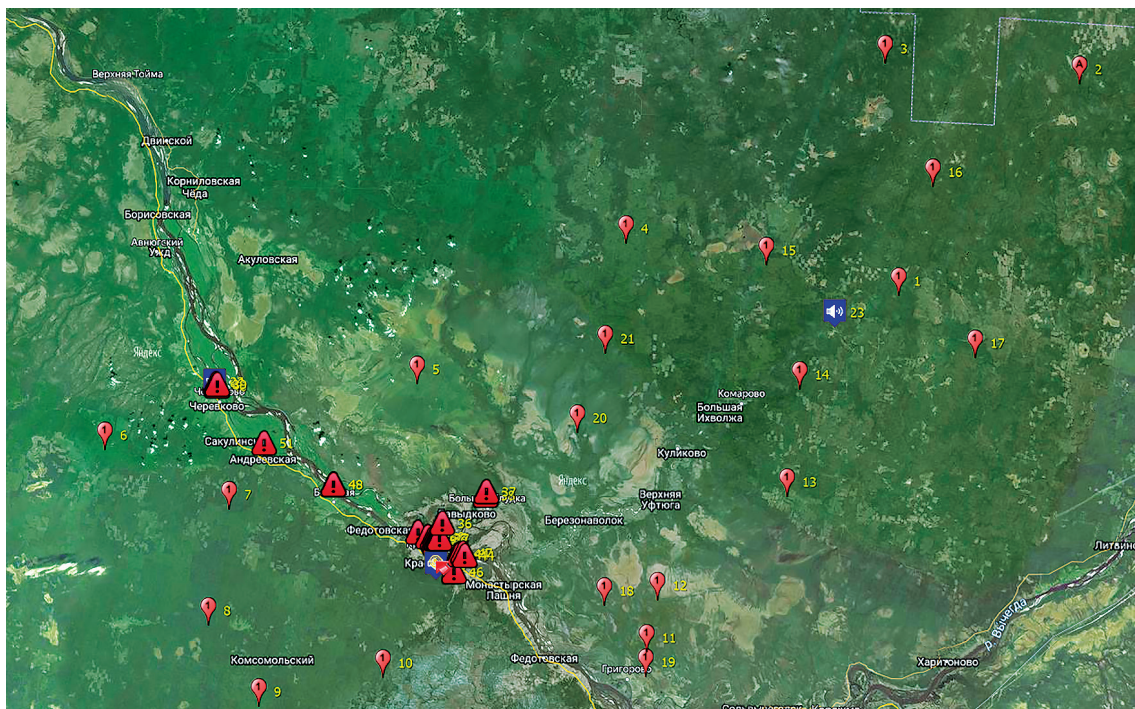


Рис. 3. Схема расположения объектов логистической цепи: 1–21 — пункты вывозки лесосечных отходов; 22–24 — заводы по производству брикетов; 26–52 — источники теплоснабжения
Fig. 3. Scheme of the logistics chain objects location: 1–21 — points for the removal of logging waste; 22–24 — factories for the briquettes production; 26–52 — sources of heat supply

и ООО «Красноборск Лес Пром». Предприятия занимаются лесозаготовкой и вывозкой леса на Котласский целлюлозно-бумажный комбинат. Проект создания лесоперерабатывающего завода разработан в ООО «Красноборск Лес Пром», но к его реализации еще не приступили. Наряду с этими предприятиями лесозаготовительную деятельность в районе ведут еще некоторые (табл. 1) [6–10].

Лесосечные отходы образуются при лесозаготовках и зависят как от состава древостоя, бонитета, способа заготовок древесины, так и от почвенно-климатических условий, и от сезона заготовок.

К лесосечным отходам относятся ветки и сучья, вершины, мелкие деревья, кустарники, надломленные деревья, пни и корни [11].

Количество лесосечных отходов оценивают величиной 20...25 % от общей биомассы. Эти отходы не включают в объем лесозаготовки, так как их объем учитывают только по стволу части дерева. Это обстоятельство актуализирует заготовки лесосечных отходов в целях производства из них полезной продукции. Кроме того, согласно Лесному кодексу Российской Федерации, лесосечные отходы следует убирать с лесосек в установленные сроки [12].

Сбор порубочных остатков можно осуществлять различными способами (рис. 4) [13–19]. В частности на лесосеке после рубки деревьев порубочные остатки укладывают на трелевоч-

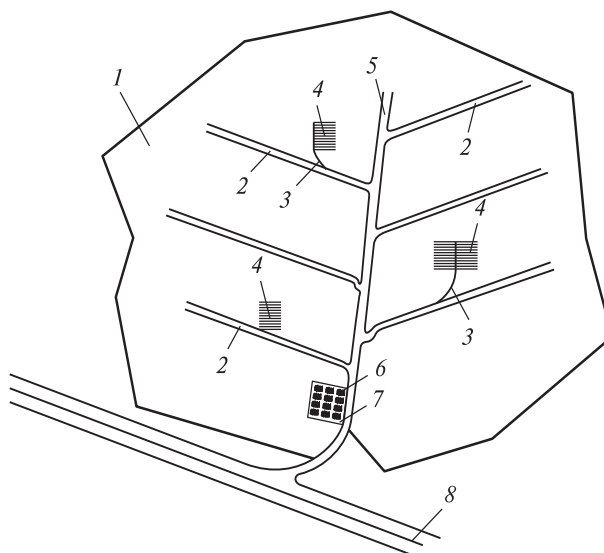


Рис. 4. Технологический процесс сбора порубочных остатков: 1 — лесосека; 2 — ветки лесовозной дороги; 3 — усы лесовозной дороги; 4 — лесосеки; 5 — лесовозная дорога; 6 — лесосечные отходы; 7 — транзитный пункт; 8 — магистральная дорога
Fig. 4. Technological process of collecting logging residues: 1 — cutting area; 2 — branches of the logging road; 3 — spurs of the logging road; 4 — cutting areas; 5 — logging road; 6 — logging waste; 7 — transit point, 8 — main road

ный волок либо рядом с ним. Сборочно-сортировочная машина, двигаясь по трелевочному волоку, собирает лесосечные отходы, погружая

Котельные Красноборского района Архангельской области (рис. 3)
Krasnoborsk boiler houses in the Arkhangelsk region (Fig. 3)

Номер источника теплоснабжения	Наименование котельной	Установленная мощность, Гкал/ч
26	Котельная ПМК-1, с. Красноборск, ул. Гагарина, д. 23б	1,51
27	Котельная СПМК-6, с. Красноборск, ул. Гагарина, д. 3	2,40
28	Котельная Юбилейной, с. Красноборск, ул. Юбилейная, д. 4	0,26
29	Котельная Аэропорта, с. Красноборск, ул. Авиационная, д. 11	0,52
30	Котельная СПМК-2, с. Красноборск, ул. Красная, д. 40б	1,63
31	Котельная ЦРБ, с. Красноборск, ул. Набережная, д. 31а	1,57
32	Котельная ЛПХ, с. Красноборск, ул. Пионерская, д. 24	0,69
33	Котельная детского сада «Сказка», с. Красноборск, ул. Красная, д. 7а	0,86
34	Котельная ДК, с. Красноборск, ул. Гагарина, д. 42	0,97
35	Котельная КСШ, с. Красноборск, ул. Плакидина, д. 26б	1,51
36	Котельная Гагарина 14, с. Красноборск, ул. Гагарина, д. 14	0,26
37	Котельная СХТ(РТП), д. Фроловская, ул. Дружбы, д. 10а	0,49
38	Котельная Дябрино, п. Дябрино	1,58
39	Котельная МБОУ «Белослудская ООШ», д. Белая Слуда, д. 9а	0,49
40	Котельная «Белослудский ДК», д. Белая Слуда, д. 150а	0,15
41	Котельная МБОУ «Черевковская средняя школа», с. Черевково, начальная школа, ул. Первомайская, д. 9	0,49
42	Котельная МБОУ «Черевковская средняя школа», с. Черевково, средняя школа, ул. Советская, 7б	0,94
43	Котельная МБОУ «Черевковская средняя школа», с. Черевково, детский сад «Золушка», ул. Титова, д. 7а	0,3
44	Котельная ГБОУ АО «ЧСКОШИ», с. Черевково, коррекционная школа, ул. Садовая, д. 4	0,3
45	Котельная ДК-В. Сергиевская, д. В. Сергиевская	0,3
46	Котельная ДК, с. Черевково, ул. Первомайская, д. 34а	0,3
47	Котельная «Городищенская», д. Городищенская, д. 6	0,04
48	Котельная «Ильинского ДК», д. Ершевская, ул. Центральная, д. 10а	0,04
49	Котельная «Солониха», д. Курорт Солониха, ул. Молодежная, д. 1	2,87
50	Котельная ГБУЗ АО «Санаторий имени М.Н. Фаворской»	2,22
51	Котельная МБОУ «Пермогорская ООШ», д. Большая, средняя школа, ул. Школьная, д. 4а	1,28
52	Котельная МБОУ «Пермогорская ООШ», д. Шилово, детский сад «Сосенка», д. 15	0,1

их в отдельные отсеки кузова. При наполнении отсеков кузова порубочные остатки доставляют на погрузочный пункт лесосеки и укладывают в отдельные штабеля.

Предложенный способ предполагает не разделять погрузочные пункты для каждой лесосеки отдельно, а формировать единый транзитный склад, расположенный в местах примыкания к лесовозной дороге (см. рис. 4).

Установленная мощность источников теплоснабжения в Красноборском районе составляет 26,0 Гкал/ч, в том числе работающих на дровах — 12,6 Гкал/ч, на дровах и угле — 2,7 Гкал/ч, на угле — 10,2 Гкал/ч, на дизельном топливе — 0,5 Гкал/ч [10].

Число муниципальных образований — поселений, в которых имеется центральное теплоснабжение составляет 7.

Всего котельных — 45, в том числе муниципальных — 40, ведомственных — 4, частных — 1. Количество источников теплоснабжения по видам топлива: на дровах — 32, дровах и угле — 4, угле — 8, на дизельном топливе — 1. Установлено в котельных 75 котлов.

Жилых домов с центральным отоплением — 21, отапливаемая площадь жилищного фонда — 37 304 м².

Социальных объектов, обеспеченных центральным теплоснабжением, — 55, прочих объектов, обеспеченных центральным теплоснабжением, — 15.

Т а б л и ц а 3

Стоимость транспортировки 1 м³ продукции от пунктов производства до пунктов потребления по каждому маршруту, руб.

The transportation cost of 1 m³ of products from production points to consumption points along each route, rub.

Поставщики (пункты вывозки)	Потребители (заводы по производству брикетов, см. рис. 3)			
	22	23	24	25
1	172	20	222	0
2	258	106	294	0
3	216	80	238	0
4	122	70	140	0
5	60	134	64	0
6	112	238	38	0
7	68	204	34	0
8	74	224	72	0
9	72	224	100	0
10	38	186	104	0
11	72	124	162	0
12	72	108	156	0
13	116	60	186	0
14	130	26	188	0
15	144	26	182	0
16	202	50	238	0
17	186	46	224	0
18	56	118	142	0
19	76	132	166	0
20	64	90	116	0
21	88	74	126	0

Т а б л и ц а 4

Стоимость транспортировки 1 м³ продукции от пунктов производства брикетов до пунктов теплоснабжения по каждому маршруту, руб.

The transportation cost of 1 m³ of products from briquette production points to heat supply points for each route, rub.

Поставщики (заводы по производству брикетов)	Потребители (источники теплоснабжения)													
	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
22	8	8	8	8	8	6	8	8	8	12	14	28	28	92
23	148	148	150	150	148	150	148	146	146	152	142	126	126	198
24	86	88	84	86	86	86	86	86	80	88	86	94	94	1
Поставщики (заводы по производству брикетов)	Потребители (источники теплоснабжения)													
	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53
22	92	92	92	68	8	6	6	8	42	42	6	62	8	0
23	198	198	200	188	144	144	148	142	170	170	150	178	150	0
24	1,16	1	1,08	0,24	96	96	98	96	50	50	86	24	86	0

Львиную долю используемых теплоносителей составляет уголь — 62,8 %, третью часть — дрова. При этом отходы лесозаготовительной деятельности вовсе не используются [9].

В табл. 2 приведена установленная мощность всех существующих котельных Красноборского района Архангельской обл.

По данным, приведенным в табл. 1 и 2 был рассчитан расход топливных брикетов в месяц, необходимый для бесперебойного теплоснабжения района, который составил 3687,305 т. Расчет был выполнен из расхода 222 кг брикетов на 1 Гкал.

Количество технологических линий по производству брикетов определяется по формуле

$$Q = \frac{V_6}{\Pi},$$

где V_6 — объем топливных брикетов, т/мес,
 $V_6 = 3687,305$;

Π — производительность линии для производства брикетов, т/мес, $\Pi = 1584$.

Согласно расчетам было принято три технологические линии по производству брикетов для снабжения 28 источников теплоснабжения в Красноборском районе.

Производительность одной линии составляет 2,2 т/ч. Производство запланировано осуществлять в три смены, тогда будет производиться брикетов около 1584 т/мес (19 008 т/год). Средняя цена брикетов на внутреннем рынке России составляет к 2022 г. 5500 руб. за 1 т фасованной продукции, т. е. планируемый месячный доход предприятия составит не менее 3 млн 300 тыс. руб.

На космических фотоснимках местности (см. рис. 3) были отмечены пункты вывозки, планируемые заводы по производству брикетов и источники теплоснабжения в Красноборском районе. Затем измерены расстояния транспортировки от пунктов вывозки лесосечных отходов до заводов по производству топливных брикетов и от заводов до источников теплоснабжения. Планируемые заводы по производству брикетов было решено разместить в пос. Слободской (22), с. Красноборск (23) и с. Черевково (24).

Для составления логистической схемы были решены две транспортные задачи: 1) от пунктов вывозки отходов до заводов по изготовлению брикетов; 2) от заводов до пунктов теплоснабжения.

Транспортные задачи решали методом потенциалов [20–25], который применяется только к закрытым транспортным задачам. Поэтому в первом случае был введен фиктивный завод 25, а во втором — фиктивная котельная 53.

Для обеих задач была рассчитана стоимость транспортировки (табл. 3, 4).

Решение осуществлялось в пакете прикладных программ Microsoft Excell.

Оптимальное решение первой задачи предполагает перевозку 1584 м³ лесосечных отходов и порубочных остатков с пунктов производства 1, 4, 9–15, 18–21 в пункт 22 (предприятие по производству брикетов в с. Красноборск). Из пункта 1 отходы также везут в пункт 23 (предприятие по производству брикетов в пос. Слободской). Из пунктов 4–8 лесосечные отходы транспортируют в пункт 24 (предприятие по производству брикетов в с. Черевково). Стоимость транспортировки минимальная, составляет 305 тыс. руб.

Оптимальное решение второй задачи предполагает перевозку 247 м³ топливных брикетов из пункта производства 22 в пункт 26 (котельная

Т а б л и ц а 5

**Общая логистическая схема
 транспортировки лесосечных отходов
 и топливных брикетов**
**General logistics scheme for the transportation
 of logging waste and fuel briquettes**

Объем лесосечных отходов, м ³	Пункты вывозки	Завод по производству брикетов	Источники теплоснабжения	Объем брикетов, м ³
1584	1	23	34	141
			26	159
			38	43
			39	80
			40	259
			47	49
			48	19
			50	7
115	1	22	26	247
302	4		27	393
90	9		30	85
199	10		31	267
54	11		32	257
326	12		33	2
46	13			
43	14		48	30
21	15		49	49
135	18			
47	19			
21	20			
185	21		35	254
606	4		24	28
		33		111
		37		247
		41		80
254	5	42		25
		43		80
99	6	44		154
		46		49
		52		7
443	7	51		216
		45		363
182	8	29		209

с. Красноборск). Из пункта 22 брикеты также везут в пункт 27 (котельная с. Красноборск). Из пункта 22 топливные брикеты транспортируют в пункты 28–32 (котельная с. Красноборск). Стоимость перевозок при этом минимальная, составляет 186 тыс. руб.

Общая логистическая схема транспортировки лесосечных отходов к пунктам производства брикетов и далее брикетов — пунктам теплоснабжения представлена в табл. 5.

Полученная логистическая схема позволяет оптимально распределить ресурсы для производства топливных брикетов, а также сами брикеты между источниками теплоснабжения.

Выводы

Использование биотоплива в современном мире занимает все большую долю в общем объеме энергоресурсов. Биотопливо более экологично и оставляет после себя меньший углеродный след по сравнению с нефтяной и газовой промышленностью. Поэтому использование нового вида топлива для нужд локальной энергетики Красноборского района Архангельской области перспективно. Составленная оптимальная схема поставок лесосечных отходов к пунктам переработки и топливных брикетов к пунктам теплоснабжения приведет к рациональному использованию порубочных остатков.

Список литературы

- [1] Морозов В., Морозов А. Элементы практической экологии: управление отходами. Германия: LAP LAMBERT Acad. Publ., 2019. 80 с.
- [2] Левин А.Б., Семенов Ю.П., Малинин В.Г., Хроменко А.В. Энергетическое использование древесной биомассы / под ред. А.Б. Левина. М.: Инфра-М, 2019. 199 с.
- [3] Лукаш А.А. Энергетическое использование древесной биомассы. СПб.: Лань, 2020. 124 с.
- [4] Завражнов А.И., Сясин А.В. Исследование процесса получения топливных брикетов из отходов раскорчевки плодовых садов // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета, 2014. № 2. С. 46–49.
- [5] Погребняк Р.Г., Потрубач Н.Н. Ресурсосбережение в стратегии устойчивого развития России // Микроэкономика, 2008. Т. 8. С. 5–14.
- [6] ЭкоДревТверь. URL: <https://ekodrev-tver.ru/produksiya/biotoplivo/proizvodstvo-briketov/liniia-briketirovaniia-2-t-ch-syr-e-opilki-struzhka/> (дата обращения 12.04.2021).
- [7] Леспроминформ. URL: <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=5468> (дата обращения 12.04.2021).
- [8] Лесной план Архангельской области Российской Федерации на 2019–2028 годы. URL: <https://portal.dvinaland.ru/upload/iblock/36f/Lesnoj%20plan%20Arhangel'skoj%20oblasti%202019-2028.pdf> (дата обращения 12.04.2021).
- [9] Концепция Проекта использования низкокачественной древесины и отходов лесопереработки в производстве биотоплива. Архангельск: Правительство Архангельской области, 2009. 23 с. URL: https://www.studmed.ru/konceptsiya-proekta-ispolzovaniya-nizkokachestvennoy-drevesiny-i-otvodov-lesopererabotki-v-proizvodstve-biotopliva_e6b7b2ff890.html (дата обращения 19.05.2022).
- [10] МО «Красноборский муниципальный район». URL: <https://www.krasnoborskiy.ru/> (дата обращения 12.04.2021).
- [11] Лесной кодекс Российской Федерации от 04.12.2006 № 200-ФЗ (ред. от 28.07.2012). URL: <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=LAW;n=133350> (дата обращения 30.11.2021).
- [12] Лесной комплекс РФ. URL: <https://forestcomplex.ru/2015/06/othodyi-v-dohodyi/13/> (дата обращения 12.04.2021).
- [13] Мохирев А.П., Зырянов М. А., Безруких Ю.А. Способ сортировки порубочных остатков / Пат. 2624738 Российская Федерация, МПК А01G 23/02. Заявл. 16.11.2015, опубл. 06.07.2017. Бюл. № 19. 10 с.
- [14] Локштанов Б.М. Проектирование лесозаготовительных производств. СПб.: Изд-во СПбГЛТУ, 2015. 80 с.
- [15] Мохирев А.П., Аксенов Н.В., Шеревер О.В. О рациональном природопользовании и эксплуатации ресурсов в Красноярском крае // Инженерный вестник Дона, 2014. № 4–1 (31). С. 20.
- [16] Мохирев А.П., Безруких Ю.А., Медведев С.О. Переработка древесных отходов предприятий лесопромышленного комплекса, как фактор устойчивого природопользования // Инженерный вестник Дона, 2015. № 2. С. 36.
- [17] Perfiliev P.N., Murashova O.V., Glavatskih N.S., Zdrauskaite N.O. Improvement of logging waste usage efficiency // 21st Int. Multidisciplinary Sci GeoConference SGEM 2021, 16–22 August, 2021, SGEM 21, Bulgaria, 2021, v. 21, book. 3.1, pp. 609–618. DOI: 10.5593/sgem2021/3.1/s14.76
- [18] Перфильев П.Н., Мурашова О.В., Задраускайте Н.О. Моделирование и оптимизация технологических процессов предприятий лесопромышленного комплекса. Архангельск: Изд-во Северного (Арктического) федерального ун-та им. М.В. Ломоносова, 2018. 94 с.
- [19] Мохирев А.П., Зырянов М.А. Технология лесосечных работ с сортировкой порубочных остатков древесины // Системы. Методы. Технологии, 2015. № 3. С. 118–122.
- [20] Алябьев В.И., Ильин Б.А., Кувалдин Б.И. Сухопутный транспорт леса. М.: Лесная пром-сть, 1990. 416 с.
- [21] Тюхтина А.А. Математические модели логистики, Транспортная задача. Нижний Новгород: Изд-во Национального исследовательского Нижегородского государственного ун-та им. Н.И. Лобачевского, 2016. 66 с.
- [22] Dantzig G.B. Application of the simplex method to a transportation problem, in Activity Analysis of Production and Allocation / Ed. T.C. Koopmans. New York: Wiley, 1951, pp. 359–373.
- [23] Лунгу К.Н. Линейное программирование. Руководство к решению задач. М.: Физматлит, 2005. 128 с.
- [24] Данинг Дж.Б. Линейное программирование, его применения и обобщения / под ред. Н.Н. Воробьева. М.: Прогресс. Редакция литературы по экономике, 1966. 600 с.
- [25] Банди Б. Основы линейного программирования. М.: Радио и связь, 1989. 76 с.

Сведения об авторах

Мурашова Ольга Валерьевна  — канд. техн. наук, доцент САФУ имени М.В. Ломоносова, o.murashova@narfu.ru

Главатских Наталья Сергеевна — канд. техн. наук, доцент, заместитель директора высшей инженерной школы САФУ имени М.В. Ломоносова, n.glavayskih@narfu.ru

Перфильев Павел Николаевич — канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой лесопромышленных производств и обработки материалов, САФУ имени М.В. Ломоносова, p.perfilev@narfu.ru

Задраускайте Наталья Олеговна — канд. техн. наук, доцент САФУ имени М.В. Ломоносова, n.zadrauskaite@narfu.ru

Поступила в редакцию 06.12.2021.

Одобрено после рецензирования 05.04.2022.

Принята к публикации 18.05.2022.

PROSPECTS FOR THE INTEGRATED USE OF LOGGING PRODUCTION WASTE

O.V. Murashova , **N.S. Glavatskikh**, **P.N. Perfilev**, **N.O. Zadrauskaite**

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

o.murashova@narfu.ru

Using the example of the Krasnoborsk district in the Arkhangelsk region, the prospects of using felling residues as raw materials for the production of fuel briquettes are investigated. The technology of logging residues and production of fuel briquettes is proposed. Transportation schemes of logging waste to briquette production plants and briquettes to local energy sources have been developed.

Keywords: logging production, logging waste, fuel briquettes, local energy, logistics delivery scheme

Suggested citation: Murashova O.V., Glavatskikh N.S., Perfilev P.N., Zadrauskaite N.O. *Perspektivy kompleksnogo ispol'zovaniya otkhodov lesozagotovitel'nogo proizvodstva* [Prospects for the integrated use of logging production waste]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 4, pp. 119–127. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-4-119-127

References

- [1] Morozov V., Morozov A. *Elementy prakticheskoy ekologii: upravlenie otkhodami* [Elements of practical ecology: waste management]. Germany: LAP LAMBERT Acad. Publ., 2019, 80 p.
- [2] Levin A.B., Semenov Yu.P., Malinin V.G., Khromenko A.V. *Energeticheskoe ispol'zovanie drevesnoy biomassy* [Energy use of woody biomass]. Ed. A.B. Levin. Moscow: Infra-M, 2019, 199 p.
- [3] Lukash A.A. *Energeticheskoe ispol'zovanie drevesnoy biomassy* [Energy use of woody biomass]. St. Petersburg: Lan', 2020, 124 p.
- [4] Zavrazhnov A.I., Syasin A.V. *Issledovanie protsessa polucheniya toplivnykh briketov iz otkhodov raskorchesvki plodovykh sadov* [Study of the process of obtaining fuel briquettes from the waste of uprooting orchards]. *Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Michurinsky State Agrarian University], 2014, no. 2, pp. 46–49.
- [5] Pogrebnyak R.G., Potrubach N.N. *Resursosberezhenie v strategii ustoychivogo razvitiya Rossii* [Resource saving in the strategy of sustainable development of Russia]. *Mikroekonomika* [Microeconomics], 2008, v. 8, pp. 5–14.
- [6] *EkoDrevTver'* [EcoDrevTver']. Available at: <https://ekodrev-tver.ru/produksiya/biotoplivo/proizvodstvo-briketov/liniia-briketirovaniia-2-t-ch-syr-e-opilki-struzhka/> (accessed 12.04.2021).
- [7] *Lesprominform* [Lesprominform]. Available at: <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=5468> (accessed 12.04.2021).
- [8] *Lesnoy plan Arkhangel'skoy oblasti Rossiyskoy Federatsii na 2019–2028 gody* [Forest plan of the Arkhangelsk region of the Russian Federation for 2019–2028]. Available at: <https://portal.dvinaland.ru/upload/iblock/36f/Lesnoj%20plan%20Arhangel'skoy%20oblasti%202019-2028.pdf> (accessed 12.04.2021).
- [9] *Pravitel'stvo Arkhangel'skoy oblasti «Kontseptsiya Proekta ispol'zovaniya nizkokachestvennoy drevesiny i otkhodov lesopererabotki v proizvodstve biotopliva»* [The Government of the Arkhangelsk region «Concept of the Project for the use of low-quality wood and timber processing waste in the production of biofuels»]. Arkhangelsk: Government of the Arkhangelsk Region, 2009, 23 p. Available at: https://www.studmed.ru/koncepciya-proekta-ispolzovaniya-nizkokachestvennoy-drevesiny-i-othodov-lesopererabotki-v-proizvodstve-biotopliva_e6b7b2ff890.html (accessed 19.05.2022).
- [10] *MO «Krasnoborskiy munitsipal'nyy rayon»* [MO «Krasnoborsky municipal district»]. Available at: <https://www.krasnoborskiy.ru/> (accessed 12.04.2021).
- [11] *Lesnoy kodeks Rossiyskoy Federatsii ot 04.12.2006 № 200-FZ (red. ot 28.07.2012)* [Forest Code of the Russian Federation of December 4, 2006 No. 200-FZ (as amended on July 28, 2012)]. Available at: <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=LAW;n=133350> (accessed 30.11.2021).

- [12] *Lesnoy kompleks RF* [Forest complex of the Russian Federation]. Available at: <https://forestcomplex.ru/2015/06/othodyi-v-dohodyi/13/> (accessed 12.04.2021).
- [13] Mokhiev A.P., Zyryanov M. A., Bezrukikh Yu.A. *Sposob sortirovki porubochnykh ostatkov* [Method for sorting logging residues]. Patent for invention no. 2624738, dated 06.07.2017.
- [14] Lokshantov B.M. *Proektirovanie lesozagotovitel'nykh proizvodstv* [Designing of logging productions]. St. Petersburg: SPbGLTU, 2015, 80 p.
- [15] Mokhiev A.P., Aksenov N.V., Sheverev O.V. *O ratsional'nom prirodopol'zovanii i ekspluatatsii resursov v Krasnoyarskom krae* [On rational environmental management and exploitation of resources in the Krasnoyarsk Territory]. [Engineering Bulletin of the Don], 2014, no. 4–1 (31), p. 20.
- [16] Mokhiev A.P., Bezrukikh Yu.A., Medvedev S.O. *Pererabotka drevesnykh otkhodov predpriyatiy lesopromyshlennogo kompleksa, kak faktor ustoychivogo prirodopol'zovaniya* [Processing of wood waste from enterprises of the timber industry as a factor in sustainable environmental management]. *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering Bulletin of the Don], 2015, no. 2, part 2, p. 36.
- [17] Perfiliev P.N., Murashova O.V., Glavatskikh N.S., Zadrauskaite N.O. Improvement of logging waste usage efficiency. 21st International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2021, 16–22 August, 2021, SGEM 21, Bulgaria, 2021, v. 21, book. 3.1, pp. 609–618. DOI: 10.5593/sgem2021/3.1/s14.76
- [18] Perfil'ev P.N., Murashova O.V., Zadrauskayte N.O. *Modelirovanie i optimizatsiya tekhnologicheskikh protsessov predpriyatiy lesopromyshlennogo kompleksa* [Modeling and optimization of technological processes of timber industry enterprises]. Arkhangelsk: Northern (Arctic) Federal Univ. M.V. Lomonosov, 2018, 94 p.
- [19] Mokhiev A.P., Zyryanov M.A. *Tekhnologiya lesosechnykh rabot s sortirovkoy porubochnykh ostatkov drevesiny* [Technology of logging operations with sorting of logging residues of wood]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii* [Systems. Methods. Technologies], 2015, no. 3, pp. 118–122.
- [20] Alyab'ev V.I., Il'in B.A., Kuvaldin B.I. *Sukhoputnyy transport lesa* [Land transport of the forest]. Moscow: Timber industry, 1990, 416 p.
- [21] Tyukhtina A.A. *Matematicheskie modeli logistiki, Transportnaya zadacha* [Mathematical models of logistics, Transport problem]. Nizhny Novgorod: National Research Nizhny Novgorod State University N.I. Lobachevsky, 2016, 66 p.
- [22] Dantzig G.B. Application of the simplex method to a transportation problem, in *Activity Analysis of Production and Allocation*, ed. T.C. Koopmans. New York: Wiley, 1951, pp. 359–373.
- [23] Lungu K.N. *Lineynoe programmirovaniye. Rukovodstvo k resheniyu zadach* [Linear programming. Guide to problem solving]. Moscow: Fizmatlit, 2005, 128 p.
- [24] Dantzig J.B. *Lineynoe programmirovaniye, ego primeneniya i obobshcheniya* [Linear Programming, Its Applications and Generalizations], ed. N.N. Vorobyov. Moscow: Progress. Editorial Board of Literature in Economics, 1966, 600 p.
- [25] Bundy B. *Osnovy lineynogo programmirovaniya* [Fundamentals of linear programming]. Moscow: Radio and communication, 1989, 76 p.

Authors' information

Murashova Ol'ga Valer'evna✉ — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, o.murashova@narfu.ru

Glavatskikh Natal'ya Sergeevna — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor, Deputy Director of the Higher School of Engineering of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, n.glavayskikh@narfu.ru

Perfil'ev Pavel Nikolaevich — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor, Head of the Department of Timber Production and Materials Processing of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, p.perfilev@narfu.ru

Zadrauskayte Natal'ya Olegovna — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, n.zadrauskaite@narfu.ru

Received 06.12.2021.

Approved after review 05.04.2022.

Accepted for publication 18.05.2022.

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

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ КАЖУЩЕЙСЯ ПЛОТНОСТИ ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

Рен. Х. Гайнуллин✉, Риш. Х. Гайнуллин, Е.М. Цветкова,
М.Ю. Смирнов, А.А. Макаров, А.В. Еросланов

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

gainylinrh@yandex.ru

Приведено описание процедуры математического обоснования технологических параметров устройства для измерения кажущейся плотности пористых материалов, для которой были использованы методы решения дифференциальных уравнений, приложение Microsoft Excel с функцией «Поиск решения», графоаналитический и геометрический методы. Обоснование технологических параметров проведено на основе функциональной зависимости $V_1/V_c + \Delta V_1/\Delta V_2 = 1$, описывающей взаимосвязь параметров устройства и объекта исследования. Расчетами установлено оптимальное соотношение между объемом исследуемого тела и цилиндром для образца (измерительным цилиндром), составляющее 0,5, что позволяет получать в ходе экспериментальных исследований достоверные результаты, а также упростить процедуру проведения измерений. Для исследования пористых тел объем образца следует подбирать с учетом пористости материала на основе априорной информации.

Ключевые слова: устройство для измерения плотности, технологические параметры, математическое обоснование, методы оптимизации

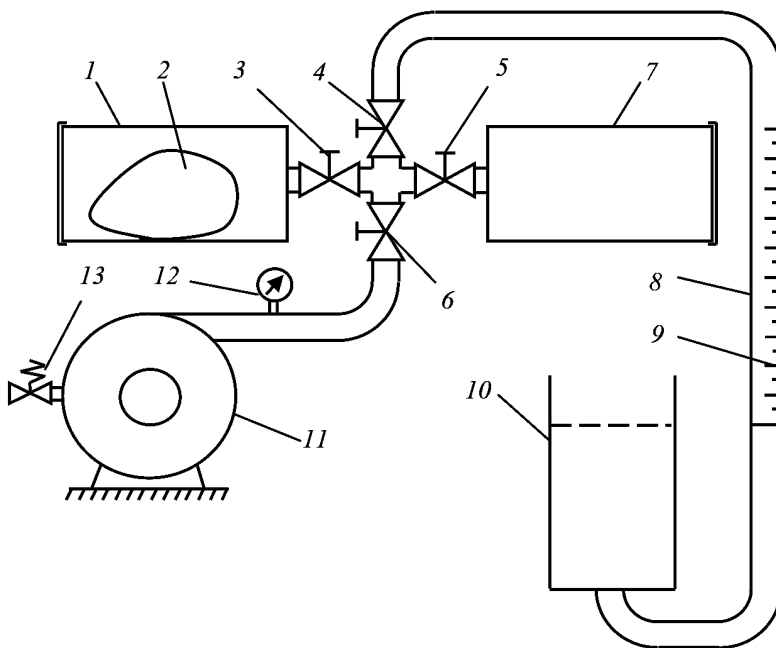
Ссылка для цитирования: Гайнуллин Рен. Х., Гайнуллин Риш. Х., Цветкова Е.М., Смирнов М.Ю., Макаров А.А., Еросланов А.В. Математическое обоснование технологических параметров устройства для измерения кажущейся плотности пористых материалов // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 4. С. 128–134. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-4-128-134

Практически все технологические процессы перед внедрением проходят процедуру математического обоснования и оптимизации [1]. Это позволяет снизить затраты, повысить производительность или найти баланс между определенными параметрами этих процессов [2]. Применительно к измерительным технологиям и устройствам математическое обоснование подразумевает поиск оптимальных характеристик и параметров между устройством для измерения и измеряемым объектом. К таким характеристикам могут относиться линейные и объемные, весовые и силовые, а также энергетические и другие параметры. Благодаря математическому обоснованию и оптимизации создается номенклатурный ряд измерительных приборов определенного назначения для регистрации и фиксации параметров как от сверхмалых, так и до сверхбольших значений измеряемой величины. Подбор измерительных устройств производителями по требованиям потребителей, как правило, носит рекомендательный характер. Однако с точки зрения научных исследований точность измерения исследуемой величины имеет важнейшее значение для получения достоверных и адекватных результатов экспериментальных данных. Следует отметить, что осуществление процедуры оптимизации про-

исходит с применением средств математического аппарата: дифференциального и интегрального исчислений, графического анализа и т. д. Важным и необходимым условием является наличие математических моделей и других функциональных зависимостей исследуемого процесса, которые базируются на постулатах и законах физики. Проведение исследований указанных моделей и зависимостей с помощью дифференциального и интегрального исчислений, дает возможность найти экстремумы функций, площади фигур, ограниченных этими функциями, а графический анализ помогает визуализировать полученные результаты. Из соответствующих разделов математического анализа известно, что функции, у которых есть экстремумы, имеют максимальное или минимальное значение, что позволяет отыскать оптимум для исследуемого процесса [3]. Также известно, что площади фигур, ограниченных графиками функций, с точки зрения физики означают, например, величину работы, необходимой для осуществления цикла процесса [4]. Таких примеров можно привести огромное множество. Понимая необходимость математического обоснования технологических параметров, считаем актуальным проведение данной процедуры применительно к новому устройству, разработанному для измерения кажущейся плотности пористых материалов [5].

Рис. 1. Схема экспериментальной установки:
 1 — цилиндр для проб; 2 — исследуемый образец; 3–6 — краны;
 7 — измерительный цилиндр;
 8 — прозрачный трубопровод;
 9 — шкала; 10 — цилиндр с водой;
 11 — пневмонасос; 12 — манометр;
 13 — перепускной клапан

Fig. 1. Diagram of the experimental setup:
 1 — cylinder for samples; 2 — test sample; 3–6 — taps;
 7 — measuring cylinder;
 8 — transparent pipeline;
 9 — scale; 10 — cylinder with water;
 11 — pneumatic pump; 12 — pressure gauge;
 13 — bypass valve



Цель работы

Цель работы — математическое обоснование технологических параметров устройства для измерения кажущейся плотности пористых материалов, в частности определение оптимального соотношения объемов исследуемого образца и цилиндров устройства.

Материалы и методы

В настоящее время известно большое количество методов и способов для определения плотности пористых материалов, например, древесины [6–11], к которым можно отнести стандартизированные методы и способы [12–14]. Наибольшее распространение получил метод газовой пикнометрии. Следуя по пути его модернизации, определим оптимальное соотношение между объемами исследуемого образца и измерительного цилиндра устройства с использованием различных средств математического аппарата.

Конструкция устройства (рис. 1) для измерения кажущейся плотности пористых материалов описана в работе [15], а физический принцип ее функционирования приведен в работах [16–18].

Из указанных выше литературных источников следует, что наибольший интерес представляет собой величина объема исследуемого образца, определяемая по выражению

$$V_t = V_c \left(1 - \frac{\Delta V_1}{\Delta V_2} \right), \quad (1)$$

где V_t — объем исследуемого образца;
 V_c — объемы измерительного цилиндра и цилиндра для образца;

ΔV_1 — изменение величины объема воздуха в цилиндре для образца;

ΔV_2 — изменение величины объема воздуха в измерительном цилиндре.

Задаваясь целью математического обоснования технологических параметров устройства для измерения кажущейся плотности пористых материалов, необходимо провести ранжирование параметров. Все параметры в данном случае можно подразделить на три группы:

- 1) относящиеся к устройству (объемы цилиндров V_c);
- 2) относящиеся к исследуемым образцам (объем образца V_t);
- 3) характеризующие протекание процесса (давление в измерительной системе P , температуру системы T) [19].

В целях упрощения дальнейших расчетов группу факторов, характеризующих протекание процесса, принимаем постоянными. Тогда уравнение (1) можно представить в ином виде:

$$\frac{V_t}{V_c} + \frac{\Delta V_1}{\Delta V_2} = 1. \quad (2)$$

Уравнение (2) можно выразить в дифференциальном виде следующим образом:

$$\frac{dV_t}{V_c} - \frac{V_t dV_c}{V_c^2} + \frac{d\Delta V_1}{\Delta V_2} - \frac{\Delta V_1 d\Delta V_2}{\Delta V_2^2} = 0. \quad (3)$$

Сгруппировав соответствующие одноименные члены дифференциального уравнения (3), получаем уравнение вида:

$$\frac{dV_t}{V_c} - \frac{V_t dV_c}{V_c^2} = \frac{\Delta V_1 d\Delta V_2}{\Delta V_2^2} - \frac{d\Delta V_1}{\Delta V_2}. \quad (4)$$

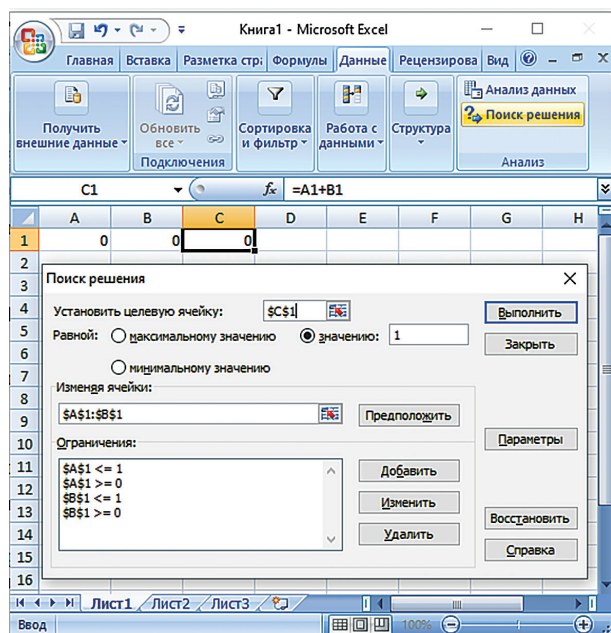


Рис. 2. Начальные условия для поиска решения
Fig. 2. Initial conditions for finding a solution

Для решения дифференциального уравнения (4), его необходимо представить в виде системы одновременно решаемых более простых уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dV_T}{V_c} - \frac{V_T dV_c}{V_c^2} = 0, \\ \frac{\Delta V_1 d\Delta V_2}{\Delta V_2^2} - \frac{d\Delta V_1}{\Delta V_2} = 0. \end{cases} \quad (5)$$

Упрощая первое из двух уравнений системы (5) получаем следующее:

$$\frac{dV_T}{V_T} = \frac{dV_c}{V_c}, \quad (6)$$

проинтегрировав которое, получаем

$$\ln(V_T) = \ln(V_c) + \ln(C_1), \quad (7)$$

где C_1 — некоторое число.

Применяя правило упрощения натуральных логарифмов, такой вид выражения (7):

$$V_T = C_1 V_c. \quad (8)$$

Упрощая второе из двух уравнений системы (5), получаем:

$$\frac{d\Delta V_1}{\Delta V_1} = \frac{d\Delta V_2}{\Delta V_2}, \quad (9)$$

проинтегрировав это равенство, получаем:

$$\ln(\Delta V_1) = \ln(\Delta V_2) + \ln(C_2), \quad (10)$$

где C_2 — некоторое число.

Применяя правило упрощения натуральных логарифмов, получаем такой вид выражения (10):

$$\Delta V_1 = C_2 \Delta V_2. \quad (11)$$

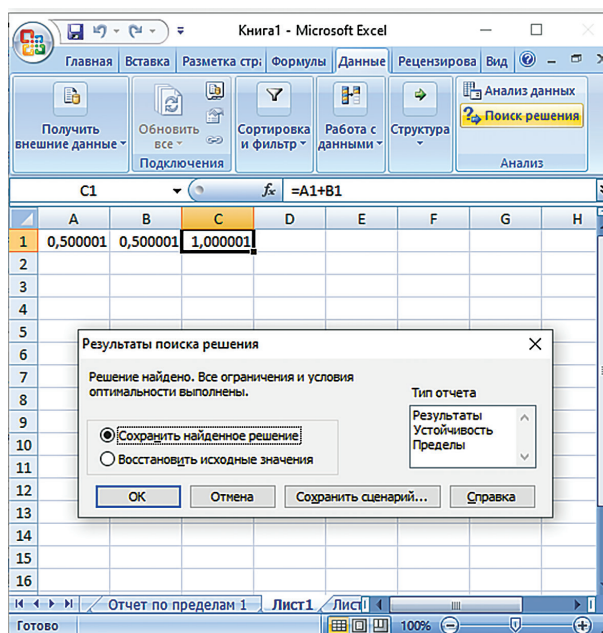


Рис. 3. Результаты поиска решения
Fig. 3. Results of the solution search

Из уравнений (8) и (11) следует, что числа C_1 и C_2 представляют собой отношения $C_1 = \frac{V_T}{V_c}$ и $C_2 = \frac{\Delta V_1}{\Delta V_2}$. С учетом этого выражение (2) можно представить в виде:

$$C_1 + C_2 = 1. \quad (12)$$

Принимая во внимание уравнение (4) и систему (5), логично предположить, что $C_1 = C_2 = 0,5$. В пользу этого предположения также говорит проверка в приложении Microsoft Excel с использованием функции «Поиск решения». На рис. 2 отражены начальные условия для поиска решения. Целевой является ячейка C1 (см. рис. 2), которой присваивается значение 1. Эта ячейка равна сумме ячеек A1 и B1, ячейки A1 и B1 — соответственно изменяемые значения некоторых чисел C_1 и C_2 , взятых из уравнений (7) и (10). Кроме того, есть ограничения: $C_1 \geq 0$; $C_1 \leq 1$; $C_2 \geq 0$; $C_2 \leq 1$. После запуска поиска решения программа выдает результат, удовлетворяющий всем условиям и ограничениям (рис. 3).

Аналогичный результат получаем при решении поставленной задачи графоаналитическим способом [20] (рис. 4). Целевая функция $C_1 + C_2 = 1$ на графике изображена утолщенной линией. Она пересекает ось C_1 в точке с координатами [1; 0], а ось C_2 — в точке с координатами [0; 1], образуя при пересечении с осями фигуру равнобедренного треугольника с вершиной в начале координат. Ограничение $C_1 \geq 0$ предполагает перемещение прямой, перпендикулярной оси C_1 , вдоль по направлению оси C_1 из начала координат к точке с координатами [1; 0], а ограничение $C_1 \leq 1$ — пере-

мещение этой же прямой противоположно направлению оси C_1 из точки с координатами $[1; 0]$ к началу координат. Ограничение $C_2 \geq 0$ предполагает перемещение прямой, перпендикулярной оси C_2 , вдоль по направлению оси C_2 из начала координат к точке с координатами $[0; 1]$, а ограничение $C_2 \leq 1$ — перемещение этой же прямой противоположно направлению оси C_2 из точки с координатами $[0; 1]$ к началу координат. Рассматривая указанные ограничения применительно к целевой функции, получаем следующее. Совокупность двух ограничений $C_1 \leq 1$ и $C_2 \geq 0$ определяют направление перемещения прямой, перпендикулярной линии целевой функции, вдоль прямой линии целевой функции от точки с координатами $[1; 0]$ к точке с координатами $[0; 1]$, а совокупность оставшихся ограничений $C_1 \geq 0$ и $C_2 \leq 1$ — противоположное движение от точки с координатами $[0; 1]$ к точке с координатами $[1; 0]$. Оптимумом, удовлетворяющим всем указанным ограничениям, является точка с координатами $[0,5; 0,5]$.

Эту же самую задачу со всеми указанными выше ограничениями и целевой функцией можно решить иным способом. В этом случае постановка задачи будет иметь следующую формулировку: «Целевая функция $C_1 + C_2 = 1$ при пересечении с осями координат C_1 и C_2 образует треугольник. Требуется найти такие размеры прямоугольника, вписанного в указанный треугольник, при которых его площадь будет максимальной».

Для решения поставленной задачи указанным способом, обратимся к графику на рис. 5. Очевидно, что целевая функция при пересечении с осями образует фигуру равнобедренного прямоугольного треугольника с вершиной в начале координат и углами 45° при основании, причем длина катетов равна единице. Обозначим длину и ширину вписанного прямоугольника (на рисунке заштрихован) соответственно через x и y . Тогда значение y определится из выражения

$$y = (1 - x) \operatorname{tg} 45^\circ = 1 - x, \quad (13)$$

а площадь прямоугольника соответственно из выражения

$$S = x(1 - x) = x - x^2. \quad (14)$$

Взяв производную выражения (14)

$$S'(x) = 1 - 2x, \quad (15)$$

и приравняв ее к нулю, получаем значение одной из сторон прямоугольника:

$$1 - 2x = 0 \text{ откуда } x = 0,5. \quad (16)$$

Соответственно, с учетом выражения (13) вторая сторона прямоугольника составит

$$y = 1 - x = 0,5, \quad (17)$$

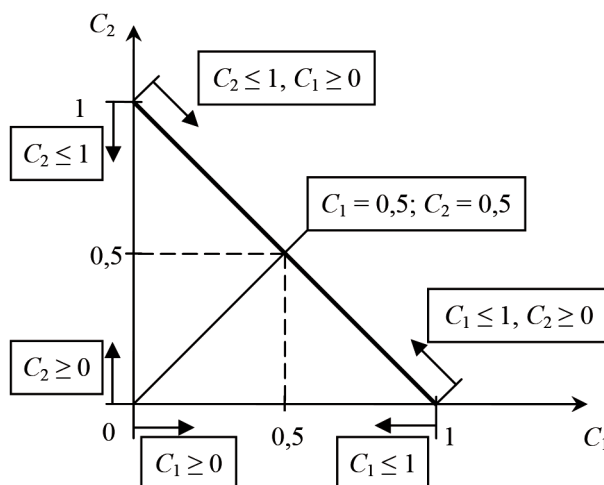


Рис. 4. Графоаналитическое решение
Fig. 4. Graphoanalytical solution

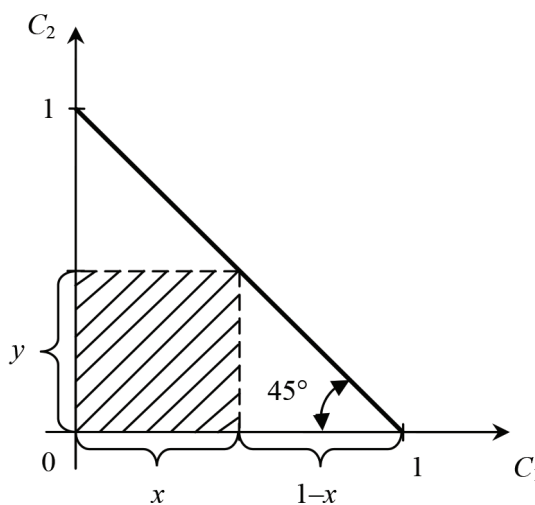


Рис. 5. Геометрическое решение
Fig. 5. Geometric solution

а площадь —

$$S = 0,5 \cdot 0,5 = 0,25. \quad (18)$$

Легко понять, что искомые размеры прямоугольника составят $0,5 \times 0,5$, а сама фигура примет вид квадрата, площадь которого равна половине площади треугольника, образованного пересечением целевой функции с осями координат.

Результаты и обсуждение

Решение дифференциального уравнения (3) позволило получить линейное уравнение вида $C_1 + C_2 = 1$. В дальнейшем определено, что $C_1 = C_2 = 0,5$. Аналогичный результат был получен с помощью функции «Поиск решения» в приложении Microsoft Excel. В основу расчетов была взята система уравнений, в которую входят целевая функция $C_1 + C_2 = 1$ и ограничения: $C_1 \geq 0$; $C_1 \leq 1$; $C_2 \geq 0$; $C_2 \leq 1$. Графоаналитический способ решения подразумевает использование тех же ограничений и целевой функции,

дальнейшее их графическое отображение на координатной плоскости и принятие соответствующего решения, удовлетворяющего всем требованиям. Таким решением является $C_1 = C_2 = 0,5$. Геометрический метод схож с графоаналитическим, однако в его основе лежит другой подход к решению задачи, заключающийся в нахождении таких размеров вписанного прямоугольника, при которых его площадь была бы максимальной. Как итог, получено вышеупомянутое решение $C_1 = C_2 = 0,5$.

Применительно к устройству для определения кажущейся плотности полученные результаты можно интерпретировать следующим образом.

Отношения $C_1 = \frac{V_T}{V_c}$ и $C_2 = \frac{\Delta V_1}{\Delta V_2}$ связаны между

собой функциональной зависимостью. При постоянной величине объема цилиндра V_c с изменением объема тела V_T происходит пропорциональное изменение отношения $\frac{\Delta V_1}{\Delta V_2}$. Если объем тела

V_T будет мал, а отношение $\frac{V_T}{V_c}$, соответственно, будет стремиться к нулю, то отношение $\frac{\Delta V_1}{\Delta V_2}$ будет

стремиться к единице. При этом снижается точность определения объема тела V_T по выражению (1) и увеличивается дисперсия опытов. Если объем тела V_T будет велик, а отношение $\frac{V_T}{V_c}$, соответ-

ственно, будет стремиться к единице, то отношение $\frac{\Delta V_1}{\Delta V_2}$ будет стремиться к нулю. В таком случае затруднительно измерение величины ΔV_1 .

При выполнении условия $\frac{V_T}{V_c} = \frac{\Delta V_1}{\Delta V_2} = 0,5$

вышеуказанные недостатки исключаются. Это говорит о том, что соотношение между объемом тела V_T и объемом цилиндра для проб (измерительного цилиндра) V_c должно составлять 0,5.

Выводы

С помощью решения дифференциальных уравнений, приложения Microsoft Excel с функцией «Поиск решения», графоаналитического и геометрического методов для математического обоснования технологических параметров устройства для измерения кажущейся плотности получено единое решение, удовлетворяющее всем ограничениям и условиям, а именно:

$$\frac{V_T}{V_c} = \frac{\Delta V_1}{\Delta V_2} = 0,5.$$

Следовательно, для проведения экспериментальных исследований на установке данной конструкции рекомендуется подбирать образцы объемом приблизительно 0,5 относительно объема цилиндра.


Для исследования пористых тел объем образца следует подбирать с учетом пористости материала на основе априорной информации.

Список литературы

- [1] Пен Р.З., Пен В.Р. Статистические методы математического моделирования, анализа и оптимизации технологических процессов: учебное пособие. СПб.: Лань, 2020. 308 с.
- [2] Угрюмов С.А. Задачи линейного программирования. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2018. 44 с.
- [3] Данко П.Е., Попов А.Г., Кожевников Т.Я. Высшая математика в упражнениях и задачах: в 2 ч. М.: Мир и образование, 2016. 448 с.
- [4] Трофимова Т.И. Курс физики. М.: Академия, 2012. 557 с.
- [5] Гайнуллин Рен. Х., Гайнуллин Риш. Х., Цветкова Е.М., Цуркан А.А. Способ и устройство для измерения объема и определения плотности пористых материалов. Патент РФ RU 2757167. 11.10.2021. МПК: G01N 9/26, G01F 17/00. Бюл. № 29.
- [6] Dunlap F. Density of wood substance and porosity of wood // J. of agricultural research, 1914, no. II(6), pp. 423–428. URL: <https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf1914/dunla14a.pdf> (дата обращения 15.09.2021).
- [7] Christensen G.N., Hergt H.F. The apparent density of wood in non-swelling liquids // Holzforschung, 1968, no. 22(6), pp. 165–170. <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/hfsg.1968.22.6.165/html>
- [8] Stayton C.L., Hart C.A. Determining pore size distribution in softwoods with a mercury porosimeter // Forest products J., 1965, no. 15(10), pp. 435–440. URL: <https://forestprod.org/page/FPJ> (дата обращения 15.09.2021).
- [9] Plötze M., Niemi P. Porosity and pore size distribution of different wood types as determined by mercury intrusion porosimetry // European J. of wood and wood products, 2010, no. 69, pp. 649–657. <https://doi.org/10.1007/s00107-010-0504-0>
- [10] Decoux V., Varcin E., Leban J.-M. Relationships between the intra-ring wood density assessed by X-ray densitometry and optical anatomical measurements in conifers. Consequences for the cell wall apparent density determination // Annals of forest science, 2004, no. 61, pp. 251–262. <https://doi.org/10.1051/forest:2004018>
- [11] Zauer M., Pfriem A., Wagenführ A. Toward improved understanding of the cell-wall density and porosity of wood determined by gas pycnometry // Wood science and technology, 2013, no. 47, pp. 1197–1211. <https://doi.org/10.1007/s00226-013-0568-1>
- [12] DIN 66137. Bestimmung der dichte fester stoffe: teil 2: Gaspycnometrie (2004). Deutsche norm. Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN. URL: <https://www.beuth.de/en/standard/din-66137-2/300301091> (дата обращения 02.11.2021).
- [13] ISO 12154:2014. Determination of density by volumetric displacement. Skeleton density by gas pycnometry. URL: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:12154:ed-1:v1:en> (дата обращения: 02.11.2021).
- [14] ГОСТ Р 57844–2017. Композиты. Определение плотности методом замещения – кажущаяся плотность, определенная газовой пикнометрией. Национальный стандарт Российской Федерации. ФГУП «Стандартинформ». URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200157330> (дата обращения 02.11.2021).

- [15] Гайнуллин Рен. Х., Цветкова Е.М., Гайнуллин Риш. Х. К вопросу об истинной плотности древесины // *Деревообрабатывающая промышленность*, 2020. № 2. С. 11–20. URL: http://dop1952.ru/catalogue-statue_id-358.html (дата обращения: 02.11.2021).
- [16] Гайнуллин Рен. Х., Гайнуллин Риш. Х., Цветкова Е.М., Голубев М.И., Цуркан А.А. Способ измерения объема и определения плотности пористых материалов // *Системы. Методы. Технологии*, 2021. № 2 (50). С. 106–110. <https://doi.org/10.18324/2077-5415-2021-2-106-110>
- [17] Гайнуллин Рен. Х., Сафина А.В., Гайнуллин, Риш. Х., Цветкова Е.М. Определение плотности клеточных стенок древесины и других пористых материалов методом газовой пикнометрии в среде атмосферного воздуха // *Лесотехнический журнал*, 2021. Т. 11. №3 (43). С. 74–85. <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2021.3/6>
- [18] Gainullin Renat H., Safina A.V., Gainullin Rishat H., Mukhametzyanov S.R. Determination of the true density of chaga by gas picnometry in atmospheric air // *J. of Physics: Conference Series*, 2021, no. 1889, pp. 1–7. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1889/2/022044> (дата обращения 15.09.2021).
- [19] Амалицкий В.В., Амалицкий Вит.В. Оборудование отрасли. М.: МГУЛ, 2005. 583 с.
- [20] Редькин А.К., Якимович С.Б. Математическое моделирование и оптимизация технологий лесозаготовок. М.: МГУЛ, 2005. 503 с.

Сведения об авторах

Гайнуллин Ренат Харисович  — канд. техн. наук, доцент кафедры деревообрабатывающих производств ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», gainylinrh@yandex.ru

Гайнуллин Ришат Харисович — канд. техн. наук, доцент кафедры деревообрабатывающих производств ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», rishat_000@mail.ru

Цветкова Екатерина Михайловна — старший преподаватель кафедры стандартизации, сертификации и товароведения, Ekaterinadudina@mail.ru

Смирнов Михаил Юрьевич — д-р техн. наук, профессор кафедры транспортно-технологических машин ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», SmirnovMY@volgategh.net

Макаров Артем Алексеевич — магистрант ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», artuom.makarov100@mail.ru

Еросланов Антон Витальевич — магистрант ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», toni.eroslanov@bk.ru

Поступила в редакцию 08.11.2021.

Одобрено после рецензирования 14.12.2021.

Принята к публикации 04.04.2022.

MATHEMATICAL SUBSTANTIATION TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF DEVICE TO MEASURE APPARENT DENSITY OF POROUS MATERIALS

Ren. H. Gainullin , **Rish. H. Gainullin**, **E.M. Tsvetkova**, **M.Y. Smirnov**, **A.A. Makarov**, **A.V. Eroslanov**

Volga State University of Technology, 3, Lenin sq., 424000, Yoshkar-Ola, Russia

gainylinrh@yandex.ru

The article describes the procedure for mathematical substantiation technological parameters of a device for measuring the apparent density of porous materials. For this purpose, methods for solving differential equations, Microsoft Excel application with the «Solution Search» function, graphoanalytic and geometric methods were used. The justification was based on the functional dependence $V_r/V_c + \Delta V_1/\Delta V_2 = 1$, describing the relationship between the parameters of the device and the object of study. The use of these methods allowed us to obtain a single result. Calculations have established that the optimal ratio between the volume of the test body and the cylinder for the sample (measuring cylinder) is 0,5. This ratio allows obtaining reliable results in the course of experimental studies, as well as simplifying the measurement procedure. For the study of porous bodies, the sample volume should be selected taking into account the porosity of the material based on a priori information.

Keywords: density measurement device, technological parameters, mathematical justification, optimization methods

Suggested citation: Gainullin Ren. H., Gainullin Rich. H., Tsvetkova E.M., Smirnov M.Y., Makarov A.A., Eroslanov A.V. *Matematicheskoe obosnovanie tekhnologicheskikh parametrov ustroystva dlya izmereniya kazhushcheysya plotnosti poristykh materialov* [Mathematical substantiation technological parameters of device to measure apparent density of porous materials]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 4, pp. 128–134. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-4-128-134

References

- [1] Pen R.Z., Pen V.R. *Statisticheskie metody matematicheskogo modelirovaniya, analiza i optimizatsii tekhnologicheskikh processov* [Statistical methods of mathematical modeling, analysis and optimization of technological processes]. Saint Petersburg: Lan⁷, 2020, 308 p.
- [2] Ugryumov S.A. *Zadachi lineynogo programmirovaniya* [Linear programming tasks]. Yoshkar-Ola: Povolzhskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskiiy universitet, 2018, 44 p.
- [3] Danko P.E., Popov A.G., Kozhevnikov T.Ya. *Vysshaya matematika v uprazhneniyah i zadachah* [Higher Mathematics in exercises and tasks]. Moscow: Mir i Obrazovanie, 2016, 448 p.
- [4] Trofimova T.I. *Kurs fiziki* [Physics course]. Moscow: Akademiya, 2012, 557 p.
- [5] Gaynullin Ren. Kh., Gaynullin Rish. Kh., Tsvetkova E.M., Tsurkan A.A. *Sposob i ustroystvo dlya izmereniya ob'ema i opredeleniya plotnosti poristykh materialov* [Method and device for measuring the volume and determining the density of porous materials]. Patent RF, no. 2757167, 2021.
- [6] Dunlap F. Density of wood substance and porosity of wood. J. of agricultural research, 1914, no. II(6), pp. 423–428. Available at: <https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf1914/dunlap14a.pdf> (accessed 15.09.2021).
- [7] Christensen G.N., Hergt H.F. The apparent density of wood in non-swelling liquids. *Holzforschung*, 1968, no. 22(6), pp. 165–170. <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/hfsg.1968.22.6.165/html>
- [8] Stayton C.L., Hart C.A. Determining pore size distribution in softwoods with a mercury porosimeter. *Forest products J.*, 1965, no. 15(10), pp. 435–440. Available at: <https://forestprod.org/page/FPJ> (accessed 15.09.2021).
- [9] Plötze M., Niemi P. Porosity and pore size distribution of different wood types as determined by mercury intrusion porosimetry. *European J. of wood and wood products*, 2010, no. 69, pp. 649–657. <https://doi.org/10.1007/s00107-010-0504-0>
- [10] Decoux V., Varcin E., Leban J.-M. Relationships between the intra-ring wood density assessed by X-ray densitometry and optical anatomical measurements in conifers. Consequences for the cell wall apparent density determination. *Annals of forest science*, 2004, no. 61, pp. 251–262. <https://doi.org/10.1051/forest:2004018>
- [11] Zauer M., Pfiem A., Wagenführ A. Toward improved understanding of the cell-wall density and porosity of wood determined by gas pycnometry. *Wood science and technology*, 2013, no. 47, pp. 1197–1211. <https://doi.org/10.1007/s00226-013-0568-1>
- [12] DIN 66137. Bestimmung der dichte fester stoffe: teil 2: Gaspyknometrie (2004). Deutsche norm. Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN. Available at: <https://www.beuth.de/en/standard/din-66137-2/300301091> (accessed 02.11.2021).
- [13] ISO 12154:2014. Determination of density by volumetric displacement. Skeleton density by gas pycnometry. Available at: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:12154:ed-1:v1:en> (accessed 02.11.2021).
- [14] GOST R 57844-2017. *Kompozity. Opredelenie plotnosti metodom zameshcheniya — kazhushchayasya plotnost', opredeleniye gazovoy piknometriy* [Composites. Determination of density by volumetric displacement — skeleton density by gas pycnometry]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200157330> (accessed 02.11.2021).
- [15] Gaynullin Ren.Kh., Tsvetkova E.M., Gaynullin Rish.Kh. *K voprosu ob istinnoy plotnosti drevesiny* [The study of the real specific gravity of wood] // *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'* [Woodworking industry], 2020, no. 2, pp. 11–20. Available at: http://dop1952.ru/catalogue-statue_id-358.html (accessed 02.11.2021).
- [16] Gainullin Ren.Kh., Gainullin Rish.Kh., Tsvetkova E.M., Golubev M.I., Curcan A.A. *Sposob izmereniya ob'ema i opredeleniya plotnosti poristykh materialov* [A method for measuring the volume and determining the density of porous materials]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii* [Systems. Methods. Technologies], 2021, no. 2(50), pp. 106–110. <https://doi.org/10.18324/2077-5415-2021-2-106-110>
- [17] Gainullin Ren.Kh., Safina A.V., Gainullin Rish.Kh., Tsvetkova E.M. *Opredelenie plotnosti kletochnykh stenok drevesiny i drugih poristykh materialov metodom gazovoy piknometrii v srede atmosfernogo vozduha* [Determination of the density of the cell walls of wood and other porous materials by gas pycnometry in atmospheric air]. *Lesotekhnicheskiiy zhurnal*, 2021, v. 11, no. 3(43), pp. 74–85. <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2021.3/6>
- [18] Gainullin Renat H., Safina A.V., Gainullin Rishat H., Mukhametzyanov S.R. Determination of the true density of chaga by gas pycnometry in atmospheric air. *J. of Physics: Conference Series*, 2021, no. 1889, pp. 1–7. Available at: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1889/2/022044> (accessed 15.09.2021).
- [19] Amalitskiy V.V., Amalitskiy Vit.V. *Oborudovanie otrasli* [Industry Equipment]. Moscow: MSFU, 2005, 583 p.
- [20] Red'kin A.K., Yakimovich S.B. *Matematicheskoe modelirovanie i optimizatsiya tekhnologiy lesozagotovok* [Mathematical modeling and optimization of logging technologies]. Moscow: MSFU, 2005, 503 p.

Authors' information

Gainullin Renat Harisovich  — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Department of Woodworking Industries, Volga State University of Technology, gainyllinrh@yandex.ru

Gainullin Rishat Harisovich — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Department of Woodworking Industries, Volga State University of Technology, rishat_000@mail.ru

Tsvetkova Ekaterina Mihailovna — Senior Lecturer of the Department of Standardization, Certification and Merchandising, Volga State University of Technology, Ekaterinadudina@mail.ru

Smirnov Mikhail Yurievich — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the Department of Transport and Technological Machines, Volga State University of Technology, SmirnovMY@volgatech.net

Makarov Artyom Alekseevich — Master graduand, Volga State University of Technology, artyom.makarov100@mail.ru

Eroslanov Anton Vital'evich — Master graduand, Volga State University of Technology, toni.eroslanov@bk.ru

Received 08.11.2021.

Approved after review 14.12.2021.

Accepted for publication 04.04.2022.

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