

ЛЕСНОЙ ВЕСТНИК / FORESTRY BULLETIN

Научно-информационный журнал

№ 5 ' 2019 Том 23

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

Бемман Альбрехт, профессор, Дрезденский технический университет, Институт профессуры для стран Восточной Европы, Германия

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Лукина Наталья Васильевна, член-корреспондент РАН, профессор, директор ЦЭПЛ РАН, зам. Председателя Научного совета по лесу РАН, Москва

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

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

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

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

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

Обливин Александр Николаевич, д-р техн. наук, профессор, академик РАЕН, МАНВШ, заслуженный деятель науки и техники РФ, МГТУ им. Н.Э. Баумана Москва

Пастори Золтан, д-р техн. наук, доцент, директор Инновационного центра Шопронского университета, Венгрия

Полещук Ольга Митрофановна, д-р техн. наук, профессор, Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

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

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

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

Стрекалов Александр Федорович, канд. техн. наук, РКК «Энергия», ЗАО «ЗЭМ», Королёв

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

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

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

Федотов Рабнадий Николаевич, д-р биол. наук, МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва

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

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

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

Шегельман Илья Романович, д-р техн. наук, профессор, Управление научных исследований, базовая кафедра «Сквозные технологии и экономическая безопасность», главный научный сотрудник ПетрГУ, Петрозаводск

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

Щепашенко Дмитрий Геннадьевич, д-р биол. наук, доцент, старший научный сотрудник Международного института прикладного системного анализа (IIASA), Австрия

Ответственный секретарь Расава Елена Александровна

Редактор Л.В. Сивай

Перевод М.А. Карпухиной

Электронная версия Ю.А. Рязжской

Учредитель МГТУ им. Н.Э. Баумана

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

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-68118 от 21.12.2016

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

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

Выходит с 1997 года

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

Дата выхода в свет 25.10.2019.

Тираж 600 экз.

Заказ №

Объем 18,0 п. л.

Цена свободная

LESNOY VESTNIK / FORESTRY BULLETIN

Scientific Information Journal
№ 5 ' 2019 Vol. 23

Editor-in-chief

Sanaev Victor Georgievich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), Director of BMSTU (Mytishchi branch), Moscow

Editorial council of the journal

Artamonov Dmitriy Vladimirovich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), Penza State
Ashraf Darwish, Associate Professor of Computer Science, Faculty of Computer Science, Helwan University, Cairo, Egypt, Machine Intelligence Research Labs (MIR Labs), USA
Belyaev Mikhail Yur'evich, Dr. Sci. (Tech.), Head of Department, Deputy Director of S.P. Korolev RSC «Energia», Moscow
Bemman Al'brekht, Professor, the Dresden technical university, professorate Institute for countries of Eastern Europe, Germany
Burmistrova Olga Nikolaevna, Professor, Dr. Sci. (Tech.), Ukhta State Technical University, Ukhta
Chubinskiy Anatoliy Nikolaevich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), Saint Petersburg State Forest Technical University, St. Petersburg
Chumachenko Sergey Ivanovich, Professor, Dr. Sci. (Biol.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
Deglise Xavier, Dr. Sci. (Agric.), Academician of the IAWS, Academician of the French Academy of Agriculture, Nancy, France
Drapalyuk Mikhail Valentinovich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), Vice-Rector for Science and Innovation Voronezh State Academy of Forestry, Voronezh
Evdokimov Yuriy Mikhaylovich, Professor, Ph. D. (Chemical); academician of the New York Academy of Sciences, corr. Academy of Natural Sciences, a member of the Central Board of Nanotechnology Society of Russia, Moscow
Zalesov Sergey Veniaminovich, Professor, the Dr. Sci. (Agric.), USFEU, Ekaterinburg
Zaprudnov Vyacheslav Il'ich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
Ivankin Andrey Nikolaevich, Professor, Dr. Sci. (Chemical), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
Kiryukhin Dmitriy Pavlovich, Dr. Sci. (Chemical), IPCP RAS, Chernogolovka
Klassen Nikolay Vladimirovich, Ph. D. (Phys.-Math.), ISSP RAS, Chernogolovka
Kokh Nil's Elers, Professor, the Dr. of agronomics in the field of forest policy, the President of IUFRO, the Center of forest and landscape planning of university Copenhagen, Denmark
Komarov Evgeniy Gennadievich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
Korol'kov Anatoliy Vladimirovich, Professor, Dr. Sci. (Phys.-Math.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
Kotiev George Olegovich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
Kozlov Aleksandr Il'ich, Ph. D. (Tech.), Scientific Secretary of the Board of «NPO IT», Korolev
Kozhukhov Nikolay Ivanovich, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Econ.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
Krott Maks, Professor of Forest politics specialization, George-August-Universitet, Goettingen
Leont'ev Aleksandr Ivanovich, Academician of the Russian Academy of Sciences, Professor, Dr. Sci. (Tech.), BMSTU, Moscow
Lipatkin Vladimir Aleksandrovich, Professor, Ph. D. (Biol.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow

Lukina Natalya Vasilyevna, Corresponding Member of the RAS, Director of the Center for Sub-Settlement Research RAS, Deputy Chairperson of the Forest Research Council

Malashin Alexey Anatolyevich, Professor, Dr. Sci. (Physics and Mathematics), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
Martynyuk Aleksandr Aleksandrovich, Dr. Sci. (Agric.), VNIILM, Moscow

Melekhov Vladimir Ivanovich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), Academician of the Russian Academy of Natural Sciences, NARFU, Arkhangelsk
Moiseev Nikolay Aleksandrovich, Professor, Dr. Sci. (Agric.) academician of the Russian Academy of Sciences, BMSTU (Mytishchi branch), Moscow

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

Oblivin Aleksandr Nikolaevich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), Academician of the Russian Academy of Natural Sciences and MANVSh, Honored worker of science and equipment of the Russian Federation, BMSTU, Moscow

Pasztor, Zoltan, Dr., Ph.D., Director of Innovation Center, University of Sopron, Sopron, Hungary

Poleshchuk Ol'ga Mitrofanovna, Professor, Dr. Sci. (Tech.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow

Poluektov Nikolai Pavlovich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow

Rodin Sergey Anatol'evich, Professor, the Dr. Sci. (Agric.), ARRISMF, Moscow

Rykunin Stanislav Nikolaevich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow

Shadrin Anatoliy Aleksandrovich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), Academician of the Russian Academy of Natural Sciences, BMSTU (Mytishchi branch), Moscow

Shegelman Ilya Romanovich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), PSU, Petrozvodsk

Shchepashchenko Dmitry Gennadievich, Associate Professor, Dr. Sci. (Biol.), Senior Researcher, International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Austria

Shimkovich Dmitriy Grigor'evich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), OOO «Kudesnik», Moscow

Strekalov Aleksandr Fedorovich, Ph. D. (Tech.), Rocket and space corporation «ENERGIA», Korolev

Teodoronskiy Vladimir Sergeevich, Professor, Dr. Sci. (Agric.), academician of the Russian Academy of Natural Sciences, BMSTU (Mytishchi branch), Moscow

Titov Anatoliy Matveevich, Ph. D. (Tech.), Deputy Chief of Department, Scientific Secretary of the Board of MCC 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 25.10.2019.
Circulation 600 copies
Order №
Volume 18,0 p. p.
Price free

СОДЕРЖАНИЕ

Обливин А.Н. К 100-летию Мытищинского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана	6
БИОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА	
Моисеев Н.А. О каком прорыве в лесных делах России может и должна бы идти речь?	8
Соловьева М.В., Крекова Я.А., Залесов С.В. Оценка перспективности сортов березы повислой (<i>Betula pendula</i> Roth.) для озеленения городов на примере г. Екатеринбурга	16
Коротков С.А., Захаров В.П. Особенности естественного возобновления дуба на территории Орехово-Зуевского лесничества Московской области	22
Стороженко В.Г. Естественное возобновление в коренных разновозрастных сосняках Европейской тайги России	30
Мучник Е.Э. Новые и редкие лихенологические находки в Теллермановском опытном лесничестве (Воронежская область)	38
Чернышенко О.В., Васильев С.Б. Особенности минерального питания хвойных древесных растений на промышленных отвалах Егорьевского месторождения фосфоритов	46
Рыбакова Н.А., Глазунов Ю.Б. Рост культур лиственницы европейской в зоне влияния Московской кольцевой автодороги (МКАД)	54
Федотов Г.Н., Шалаев В.С., Батырев Ю.П. Аллелотоксины в почвах и стимуляция развития семян	62
ЛАНДШАФТНАЯ АРХИТЕКТУРА	
Топорина В.А., Голубева Е.И., Король Т.О. Эколого-географические аспекты исследования городского культурного ландшафта	71
Теодоронский В.С., Леонова В.А. Принципиальные подходы к озеленению и реконструкции насаждений древнерусских малых городов	79
ЛЕСОИНЖЕНЕРНОЕ ДЕЛО	
Карпачев С.П., Запруднов В.И., Быковский М.А. Система плавучих машин для подъема затонувшей древесины и переработки ее на биотопливо	88
ДЕРЕВООБРАБОТКА И ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ	
Веревкин А.Н., Кононов Г.Н., Сердюкова Ю.В., Зайцев В.Д. Биодеградация древесины ферментными комплексами дереворазрушающих грибов	95
Пастори Э., Горбачева Г.А., Санаев В.Г., Борчок Э. Энергосбережение типового деревянного дома в различных регионах России	101
Запруднов В.И., Серегин Н.Г. Методы и средства мониторинга технического состояния строительных конструкций	108
Зарубина А.Н., Иванкин А.Н., Кулезнев А.С., Кочетков В.А. Целлюлоза и наноцеллюлоза. Обзор	116
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ	
Полещук О.М. Применение аппарата мягких вычислений для решения задач лесопромышленного комплекса	126
Афанасьев А.С., Полушкин В.М., Соболев В.А., Суслов В.М., Котов Ю.Т., Знаменская Т.Д. Влияние внешней воздействующей вибрации на микроэлектромеханические системы-акселерометры	138
ПРЕСС-РЕЛИЗ	144

CONTENTS

Oblivin A. N. To the 100th anniversary of Mytishchi branch of BMSTU	6
BIOLOGICAL AND TECHNOLOGICAL ASPECTS OF FORESTRY	
Moiseev N.A. What kind of breakthrough in the forest affairs of Russia can and should be discussed?	8
Solovyeva M.V., Krekova Ya.A., Zalesov S.V. Prospect assessment of birch varieties (<i>Betula pendula</i> Roth.) for urban greening on the example of the city of Yekaterinburg	16
Korotkov S.A., Zakharov V.P. Natural regeneration peculiarities of oak in Orekhovo-Zuevo forestry, Moscow Region	22
Storozhenko V.G. Natural reforestation of indigenous Pinery In Russian Taiga	30
Muchnik E.E. New and rare lichenological records in Tellerman experimental forestry (Voronezh region)	38
Chernyshenko O.V., Vasilyev S.B. Mineral nutrition specificity of coniferous trees on industrial waste discharge of Egorievsk phosphorite deposit	46
Rybakova N.A., Glazunov Yu.B. Growth of larix decidua forest culture in influenced by Moscow ring road	54
Fedotov G.N., Shalaev V.S., Batyrev Yu.P. Allelotoxins in soils and seeds growth stimulation	62
LANDSCAPE ARCHITECTURE	
Toporina V.A., Golubeva E.I., Korol T.O. Ecological and geographical aspects of urban cultural landscape research	71
Theodoronsky V.S., Leonova V.A. Principal approaches to greening and reconstruction of plantations in small ancient Russian cities	79
FORESTRY MECHANIZATION	
Karpachev S.P., Zaprudnov V.I., Bykovskiy M.A. System of floating machine for lifting sunken wood and processing it to biofuels	88
CHEMICAL PROCESSING OF WOOD	
Verevkin A.N., Kononov G.N., Serdyukova Ju.V., Zaytsev V.D. Biodegradation of wood by wood-destroying fungi enzyme complexes	95
Pasztorzy Z., Gorbacheva G.A., Sanaev V.G., Borcsok Z. Heating energy demand savings of typical log home in different regions of Russia	101
Zaprudnov V.I., Seregin N.G. Methods and means of monitoring building structures technical condition	108
Zarubina A.N., Ivankin A.N. Kuleznev A.S., Kochetkov V.A. Cellulose and nano cellulose. Review	116
MATH MODELING	
Poleshchuk O.M. Application of soft computing to solve issues of timber industry complex	126
Afanasev A.S., Polushkin V.M., Sobolev V.A., Suslov V.M., Kotov Y.T., Znamenskaya T.D. Influence of external vibration on microelectromechanical converters of linear acceleration	138
PRESS RELEASE	144

1919



2019

Дорогие друзья!

Прошло 100 лет со дня основания Московского лесотехнического института — первого лесотехнического высшего учебного заведения России, призванного готовить инженерные кадры для лесного комплекса.

Десятки научных школ сформированы за эти годы, тысячи выпускников трудились и продолжают трудиться в различных областях деятельности на благо дальнейшего развития страны.

В 1959 г. по инициативе С.П. Королева в МЛТИ был открыт факультет электроники счетно-решающей техники (ФЭСТ), начавший готовить специалистов для космической отрасли, и с той поры по сегодняшний день существует два основных направления работы, как в подготовке кадров, так и в научной деятельности. И вот уже 60 лет мы готовим специалистов для сбережения и освоения не только главного богатства нашей планеты — Леса, но и основы мироздания — Космоса. Эта уникальность нашего вуза обязательно будет сохранена.

В 1993 г. МЛТИ получил статус университета и был переименован в Московский государственный университет леса (МГУЛ). В 2016 г. в результате реорганизации МГУЛ стал частью главного технического университета страны — МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сегодня в составе МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана два факультета — Лесотехнический и Космический, продолжающие научные и образовательные традиции предыдущих поколений преподавателей. Среди выпускников вуза лесоводы и космонавты, ученые и бизнесмены, государственные служащие и деятели культуры.

Мы гордимся нашими выпускниками, преподавателями и учеными. Их труд отразился яркими вехами в вековой истории вуза.

Желаю всем сотрудникам, студентам, аспирантам и выпускникам творческих успехов, достижения поставленных целей и преодоления новых профессиональных высот.

Уверен, что опыт, профессионализм и преданность делу профессорско-преподавательского состава, креативность студентов позволят вузу и впредь добиваться огромных успехов в образовательной и научной деятельности, быть на передовых позициях в обеспечении благосостояния России.

Позвольте же поздравить со столетием нашего вуза всех, кто имеет отношение к его прошлому, настоящему и будущему!

Главный редактор

проф. В.Г. Санаев

К 100-ЛЕТИЮ МЫТИЩИНСКОГО ФИЛИАЛА МГТУ ИМ. Н.Э. БАУМАНА



100-летняя история Московского лесотехнического института (1919–1993), или Московского государственного университета леса (1993–2016), а ныне Мытищинского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана (далее — Университет леса) и его деятельность достаточно подробно изложены в книгах и журнальных статьях, увидевших свет в последние годы.

Тем не менее в очередной раз подчеркнем, что за это длительное время Университет леса подготовил около 100 тыс. высококвалифицированных специалистов по всему комплексу лесотехнических специальностей. Кандидатские и докторские диссертации защитили сотни выпускников на шести специализированных диссертационных советах университета, многие из которых продолжают трудиться и в настоящее время.

Считаем важным напомнить момент зарождения в России лесного образования, так сказать, начало лесотехнической подготовки инженерных кадров для лесопромышленных производств и открыть причину присоединения Университета леса к крупнейшему инженерному университету России — МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Истоки зарождения лесного образования и науки о лесе в России приурочены еще к самому началу XIX в. — 19 мая 1803 г. был учрежден Практический Царскосельский лесной институт, в 1862 г. приобретший статус Лесной академии, которая готовила специалистов для лесного хозяйства Российской державы. Здесь всемирно известными лесоведами были сформированы научные основы учения о лесе.

Однако подготовка инженеров в области технологии лесозаготовок, деревообработки, лесохимических производств, в том числе бумаги и целлюлозы, в то время в России не проводилась.

После революции 1917 г. была объявлена необходимость в подготовке инженеров для лесной промышленности. Правительство учредило Организационный комитет под руководством профессора В.Э. Классена. По предложению этого комитета, поддержанному постановлением правительства, 4 декабря 1919 г. был создан Московский лесотехнический институт, предназначенный для подготовки инженерных кадров по всем востребованным направлениям. Так было положено начало подготовке инженерных кадров для лесной индустрии страны.

В 1919-м г. и в начале 1920-х гг., в период гражданской войны, страна испытывала огромные трудности, но руководство открыто смотрело в будущее, понимая, что без грамотных инженерных кадров в области лесного дела нельзя поставить на службу народному хозяйству мощный и возобновляемый сырьевой ресурс — лес. Надо отдать должное первому ректору — В.Э. Класену, который сумел не только обеспечить материально-техническую базу для института, разработать учебные планы по основным инженерным специальностям, сформировать профессорско-преподавательский состав, обеспечить прием студентов на I курс, но и пригласить для работы в вузе крупнейших ученых из тогдашнего Московского высшего технического училища им. Н.Э. Баумана. Ректор понимал, что без хороших фундаментальных знаний по математике, физике, химии, прикладной механике нельзя обеспечить подготовку грамотных высококвалифицированных инженеров. Плеяду преподавателей возглавили такие крупнейшие ученые, как Н.Н. Лузин, С.А. Чаплыгин, О.Ю. Шмидт, М.В. Кирпичев и др.

Позднее, в 1920-х гг., в Университете леса началась подготовка специалистов для лесного хозяйства. Выпускники Лесной академии — академики Н.П. Анучин, И.С. Мелехов, Н.В. Моисеев, В.Н. Сукачев и другие внесли весомый вклад в учебный процесс и формирование всех научных направлений в сфере лесного хозяйства, а в области селекции древесных пород и лесного почвоведения большой вклад внесли академики А.С. Яблоков и С.С. Соболев.

В 1943 г., в разгар Великой Отечественной войны, Университет леса возобновил свою работу в Мытищинском районе Московской обл., где и в дальнейшем продолжилось активное развитие его материально-технической базы, были построены учебные корпуса и комплекс студенческих общежитий. В 1959 г. по решению правительства и по инициативе академика С.П. Королева на базе Московского лесотехнического института был создан факультет электроники и счетно-решающей техники, который выпускал инженеров для предприятий оборонного и аэрокосмического

комплексов. Учитывая высокий уровень профессорско-преподавательского состава на базовых кафедрах вуза и близость крупных предприятий ракетно-космической отрасли, факультет стал активно развиваться, что позволило поднять уровень подготовки инженерных кадров по всем направлениям. Постоянная связь с Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова, с Московским высшим техническим училищем им. Н.Э. Баумана, Ленинградской лесотехнической академией, Академией наук СССР и предприятиями г. Калининграда (ныне г. Королёв) и г. Мытищи позволила Московскому лесотехническому институту сформировать масштабный учебно-научно-образовательный комплекс, и институт в 1993 г. решением Министерства высшего образования России стал Московским государственным университетом леса (МГУЛ).

Сложная экономическая ситуация 1990-х — начала 2000-х гг., связанная с переходом на рыночную экономику, приватизация объектов государственной собственности поставили на грань выживания всю высшую школу и науку и, в частности, МГУЛ. Сокращение объемов производства не только в лесопромышленном комплексе, но и в других отраслях экономики обусловило проблемы с трудоустройством выпускников. В связи с этим правительство принимало решения либо об укрупнении (объединении), либо о ликвидации тех или иных высших учебных заведений.

Учитывая многолетнюю связь с Московским государственным техническим университетом имени Н.Э. Баумана, ученый совет МГТУ им. Н.Э. Баумана и ученый совет МГУЛ приняли решение о присоединении МГУЛ к МГТУ им. Н.Э. Баумана в качестве структурного подразделения — Мытищинского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана при самостоятельном управлении и сохранении всех специальностей и контингента обучающихся студентов.

Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана будет и в дальнейшем успешно решать поставленные перед ним задачи.

А.Н. Обливин, д-р техн. наук,
академик Российской академии естественных наук,
советник ректората МГТУ им. Н.Э. Баумана

УДК 674.8; 628.31

DOI: 10.18698/2542-1468-2019-5-8-15

О КАКОМ ПРОРЫВЕ В ЛЕСНЫХ ДЕЛАХ РОССИИ МОЖЕТ И ДОЛЖНА БЫ ИДТИ РЕЧЬ?

Н.А. Моисеев

ФБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства» (ВНИИЛМ), 141200, Московская обл., г. Пушкино, ул. Институтская, д. 15

forestvniilm@yandex.ru

С учетом призыва Президента Российской Федерации В.В. Путина обеспечить «прорывы во всех сферах жизни» предложена возможная альтернатива реализации этого прорыва на примере управления лесами и развития лесного сектора экономики России. Дан анализ исходной ситуации в этой области, определены основные недостатки и причины, вызвавшие их, обоснованы меры по их искоренению и механизм их реализации. Особое внимание уделено укреплению государственной системы лесопользования по всей федеральной вертикали, стратегическому лесному планированию и упорядочению лесных отношений для организации баланса основных субъектов.

Ключевые слова: государственная система управления лесами по федеральной вертикали, стратегическое лесное планирование, лесное законодательство, рыночные цены древесины на корню

Ссылка для цитирования: Моисеев Н.А. О каком прорыве в лесных делах России может и должна бы идти речь? // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2019. Т. 23. № 5. С. 8–15. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-5-8-15

Эпиграфом к этой статье могли бы служить слова Президента Российской Федерации В.В. Путина: **«Нам нужны прорывы во всех сферах жизни. Глубоко убежден, что такой рынок может обеспечить только свободное общество, которое воспринимает все новое, все передовое и отторгает несправедливость, косность, дремучую отсталость и бюрократическую мертвечину»**. И далее, как бы уточняя направление прорыва, В.В. Путин добавляет: **«Нам нужно прыгнуть в новый технологический уклад. Без этого у страны нет будущего ... Нам нужно изменить качество экономики»** [1–4].

Эти слова, безусловно, с большим энтузиазмом восприняли патриоты страны, профессионалы своего дела в каждой отрасли.

Лесной сектор экономики, несомненно, в числе приоритетных, поскольку Россия является самой мощной лесной державой мира: почти четверть мирового лесного покрова находится в пределах ее территории. Лесной сектор наряду с газонептяным мог бы быть в числе основных источников дохода для страны, так как его ресурсы преимущественно возобновимые, в отличие от газа и нефти. Доля лесного сектора в ВВП страны составляет весьма незаметную величину — около 0,5 %. Для сравнения отметим, что такая небольшая страна, как Финляндия, с площадью, занимаемой лесами, равной в среднем одному из многолесных субъектов РФ, имеет доходы от лесозэкспорта не меньше, чем РФ в целом.

Чтобы организовать в этом секторе прорыв, надо вначале оценить его исходное состояние, определить основные недостатки и причины, вызвавшие их, и только после этого обосновывать меры по их искоренению и механизм их реализации.

Первопричины проблем в лесном секторе лежат за его пределами, определяются социально-экономическим положением внутри страны в целом и, конечно, это нельзя проигнорировать.

Что касается основных недостатков, то вкратце к их числу относятся следующие: разрушенная система государственного управления лесами по всей ее федеральной вертикали; нерациональная организация использования лесов и отсутствие должного лесного хозяйства, что приводит к ускоряющемуся истощению рентабельных ресурсов леса и к массовой смене хозяйственно ценных пород малоценными, а также к расширяющемуся масштабу банкротства лесопильных и деревообрабатывающих предприятий. Не оправдала себя ставка и на долгосрочную (до 49 лет) форму аренды, предполагавшая организацию глубокой переработки древесины, которая за последние 10 лет так и осталась на уровне декларации. В свою очередь, все эти недостатки порождены односторонне навязанным **олигархически-бюрократической элитой** «лесным кодексом», принятым в декабре 2006 г., в **котором аренда рассматривалась как переходный этап к тотальной приватизации лесов**. Вследствие возмущения общественности, Президент эту меру расценил как преждевременную, и, хотя термин о приватизации лесов в кодексе был упразднен, само содержание его осталось неизменным, как бы готовым к этому акту, когда наступит подходящее для него время.

В этом кодексе была нарушена преемственность со всем предшествующим в истории этапом развития лесной науки и практики. В качестве взгляда со стороны на сложившуюся ситуацию, уместно привести мнение бывшего президента Финляндии госпожи Халонен, высказанное

в интервью накануне приезда в РФ: Российская Федерация похожа на многослойный пирог, в котором смешаны остаточные явления советского периода, *дикая экономическая свобода* и попытки проведения реформ.

«Дикая экономическая свобода» — отражение взглядов российских ультралиберальных «реформаторов», которая отразилась на промышленности, сельском и лесном хозяйстве, социальной сфере и обществе в целом, расколов его на две неравные части и непримиримые стороны — горстку олигархов, захвативших по воле первых реформаторов ключевые «куски» государственного имущества и диктующих условия эксплуатации работоспособной части населения, превратив ее в бесправную наемную рабочую силу. При этом, по словам академика Е. Велихова, бывшего председателя общественной палаты РФ, создана *«псевдолиберальная экономика», которая «принесла нашей стране одно горе»* [5].

Что касается самих лесов, то по мнению Вл. Морозова, председателя общественного совета при Рослесхозе, *«формально, леса в России государственные, а на деле — ничьи. Арендаторы ведут рубку, не задумываясь, что будет через несколько десятилетий. Появились арендаторы-рантье, которые сами в лесу не работают, а сдают его в субаренду. Местные чиновники не обращают на все это внимания, а лесничества идут на поводу региональных властей»* [6]. «Управление лесами важно вернуть с регионального уровня на федеральный. *Рослесхоз должен заниматься долгосрочной стратегией развития отрасли* и контролировать, как соблюдаются нормы лесоустройства и лесопользования в целом». *«Государство обязано проявить волю и стать реальным хозяином лесного достояния страны»* [там же].

Автор этой статьи намеренно привел мнение официального лица от общественности, с которым с точки зрения первых лиц государства должны считаться государственные органы управления, ибо в действительности под влиянием неолиберальной элиты роль государства должна быть сведена до уровня *«ночного сторожа»*. Эта тенденция проявилась и в основных положениях «Лесного кодекса РФ» (2006). Хотя леса находились в федеральной государственной собственности, тем не менее полномочия по управлению ими были переданы субъектам РФ, которые не имеют полноценных возможностей для их исполнения. За федеральным органом осталась надзорная функция, при отсутствии у него реальных механизмов для ее исполнения. Реальным исполнителем надзорной функции была *государственная лесная охрана*, номинально числившаяся в составе региональных и местных

органов управления, но при этом *«предусмотрительно» настолько сильно сокращенная, что утратила свое бывшее значение.*

По кодексу, центральной фигурой в охране и восстановлении лесов был назначен арендатор, притом осуществляющий эти функции за свой счет. Главным принципом пользования лесами для него стал «заявительный», вместо предшествовавшего — «разрешительного». Он сам заявляет места рубок, сам отводит себе участки леса для рубки, но лишь формально согласовывает с лесничеством все эти действия, поскольку последний в своем сокращенном составе не может своевременно проверить и, тем более, что-либо исправить. Раньше отвод и стоимостная оценка лесосек в рубку проводилась лесничествами, с выпиской *«лесорубочных билетов»*, которые были для обеих сторон финансовым документом и определяли *«лесной доход»* государства. Новым кодексом все эти действия признаны излишними, а стоимость вырубаемых лесов никакого отношения к рыночным ценам, как должно бы быть, не имеет. Зачем, мол, *«кошмарить бизнес»*. По мнению А. Филиппова, который был 5 лет лесничим и 20 лет арендатором, существующий порядок арендных отношений недопустим. Следует восстановить государственную структуру лесничеств, возложив на них организацию и контроль за всеми видами работ по лесопользованию, выполняемых арендаторами, с оплатой по лесному хозяйству [7].

С самого начала возникновения предложения о передаче лесов в аренду лесопромышленным предприятиям принципиальным противником этого был лидер экономистов лесопромышленного профиля д-р экон. наук, профессор, заведующий кафедрой лесной экономики СПбГЛТА им. С.М. Кирова Т.С. Лобовиков. Грамотному человеку с его аргументами нельзя было не согласиться. Он утверждал, что в аренду можно передавать только средства труда — машины, механизмы, землю, по примеру сельского хозяйства, *но не предметы труда*, в данном случае древесину для заготовок. Для этого *«аренда лесов лесозаготовителями — форма неподходящая», «аренда лесов лесозаготовителями — форма опасная»*. «Экономический же, конкретный интерес лесозаготовителя сегодня, к великому сожалению, противостоит интересам лесовыращивания. Ему выгоднее брать из леса только, что лучше, и бросать все, что похуже, выгоднее рубить побольше и поближе, выгоднее всячески снижать затраты, а не увеличивать их выполнением лесовосстановительных работ, выгоднее расходовать прибыль на решение своих неотложных социальных задач, на материальное поощрение коллектива, а не на восстановление и реконструкцию лесов для будущих поколений.

И не от дурного характера лесозаготовителей, не от их косности проистекают все беды лесного хозяйства в предприятиях минлеспрома, а из отмеченного противоречия реальных экономических интересов» [8].

Практика последних многих лет подтвердила правоту Т.С. Лобовикова.

Но «Лесной кодекс РФ» (2006) усугубил положение лесных дел и по другим направлениям. Он, по существу, ликвидировал лесоустройство, по М.М. Орлову, **как важнейший инструмент лесопромышленного управления, и функции стратегического планирования лесного хозяйства на региональном и местном уровнях**, что требует важнейшая отраслевая особенность — долгосрочная специфика лесовыращивания. Как следствие, развился клубок противоречий, который тормозит развитие лесного сектора экономики. Все эти недостатки были озвучены на выездном заседании Госсовета в 2013 г. в Улан-Удэ, а также 16.01.2019 г. на заседании Совета Федерации, где рассматривались проблемы использования лесов и состояние лесного хозяйства. Выступая в Улан-Удэ, президент России В.В. Путин предельно ясно выразил основные недостатки в этой области: **«к сожалению, ни государственные органы, ни хозяйствующие субъекты, бизнес-структуры, явно на это высокое звание хозяина леса пока не тянут**. Несмотря на новый Лесной кодекс, на его постоянное совершенствование, на различные программы, различные проекты, продолжается неэффективное использование леса... В обозначенных вопросах **есть одна общая тема, одна общая проблема... Это устаревшие, постоянно тормозящие весь процесс управленческие решения..., которые говорят о том, что отрасль в целом находится в критическом состоянии»** [9]. В своем выступлении он коснулся и критики лесоустройства, и лесных планов субъектов РФ: «Субъектам Федерации... были переданы полномочия по защите и воспроизводству лесов, но большинство регионов достаточно формально отнеслись к составлению лесных планов, закладывали в их основу, как правило, устаревшие данные и подходы. Это привело к серьезным негативным последствиям» [9]. По результатам рассмотрения вопросов на данном Госсовете были даны поручения в адрес соответствующих участников заседания, но, по прошествии многих лет, они так и не были должным образом выполнены или свелись к имитации их выполнения. Поэтому многие из недостатков были также озвучены и 16 января с. г. на заседании Совета Федерации, который в заключение постановил создать комиссию и через полгода представить окончательное решение.

В сфере лесного сектора экономики Россия повторяет роковые уроки прошлого таких про-

мышленно развитых стран, как, например, США и Финляндия, которые в ходе многолетней хищнической эксплуатации своих лесов к 1950-м гг. довели их **«до ручки», истощив рентабельные ресурсы леса**. После этого они вынуждены были кардинально изменить государственную лесную политику, **начав с укрепления роли самого государства в управлении лесами, придав ему три важнейших значения: (1) инициатора, (2) организатора и (3) координатора в действиях всех субъектов, связанных с лесом**, включая государственные органы управления, предпринимательские структуры, банковскую сферу, научные организации, при широком участии самого населения через представителей общественных организаций с учетом их недоверия к органам управления и крупному бизнесу. Первыми актами их совместной деятельности стали, во-первых, выработка государственной лесной политики на всех взаимосвязанных уровнях управления, во-вторых, формирование с ее учетом лесного законодательства, в-третьих, уже с учетом первых двух актов — разработка **стратегических лесных планов** и механизм их реализации. Вся эта работа например, в США, осуществлялась под контролем Конгресса Федеральной лесной службой США в составе министерства сельского хозяйства. В Финляндии в 1949 г. для этой цели был создан государственный комитет по улучшению национальных лесов, под руководством академика Ю. Ильвесалло, который по профилю деятельности был лесоустроителем.

Автор этих строк в свое время был первым руководителем советско-американской рабочей группы по сотрудничеству в области лесного хозяйства и потому имел возможность не только по документам, но и по действиям на практике судить о том, что разработка стратегических лесных программ в США велась, не уступая действиям, осуществляемым в условиях централизованно планируемой экономики. По профилю своей деятельности я тесно сотрудничал с финскими коллегами, имел возможность не только знакомиться с их программами, но и изучать, как они реализуются на конкретных объектах.

Как важное преимущество способов планирования в этих странах отметим **эволюцию его форм: от технократического планирования**, т. е. ограниченного рамками узкого круга ведомственных лиц, через **корпоративное**, т. е. с участием главных субъектов в виде триады — органов управления, предпринимателей и банковских структур, с выходом на широкое участие **общественности (the participatory planing)**, т. е. всех возможных участников, проявивших желание участвовать. При этом потоки решений **«сверху вниз»** комбинируются со встречными потоками

«снизу вверх», используя для этого все возможные способы коммуникации (форумы, интернет и т. п.). Причем инициативу проведения такой формы планирования, например в Финляндии проявил в свое время сам ее президент.

Подчеркнем, что принятые меры по укреплению роли государства в управлении лесами и развитию стратегического лесного планирования и в США, и в Финляндии *обеспечили действительно прорыв в развитии лесного сектора экономики*, который стал примером и для других стран. Аналогичные шаги были предприняты Великобританией и Японией [10].

Россия, которая имела длительный предшествующий опыт планирования, казалось бы, должна была быть *«впереди планеты всей»*. Однако, к сожалению, здесь все как раз наоборот, наблюдается явное в этой области торможение. Федеральный закон № 172 «О стратегическом планировании в РФ» отложили для выполнения на три года, — с 2014 до 2017, но по истечении этого срока так и не были приняты необходимые меры для его реализации [11].

Китай, вырвавшийся вперед и ставший второй экономикой мира, в области стратегического планирования занял именно положение идущего *«впереди планеты всей»*, и среди всех стран показывает самые высокие темпы развития своей экономики, успешно решая проблемы бедности, повышая уровень благосостояния общества.

Теперь *«римский клуб»* в последнем своем 43-м докладе на фоне мирового кризиса глобального капитализма приводит именно Китай в качестве примера для развития человечества [12].

Выполнить призыв президента России В.В. Путина о *«прорыве во всех сферах жизни» возможно только на основе стратегического планирования в масштабе страны и на всех ее соподчиненных уровнях*, а потому немыслимо дальше откладывать реализацию принятого в 2014 г. ФЗ № 172 о «Стратегическом планировании в Российской Федерации».

Рассмотрим меры по устранению перечисленных выше недостатков. В ходе исторического развития преимущественно отрабатываются наиболее рациональные способы и приемы хозяйствования, неоднократно проверенные временем, применительно к конкретным природным и экономическим условиям. Ими, безусловно, нельзя пренебрегать, начиная каждый раз с «нуля», после тех или иных потрясений. В этом отношении не следует забывать высказывание профессора М.М. Орлова: *«ничто так не вредно в лесном хозяйстве, как метание из стороны в сторону, постоянная смена направлений, которая приводит к топтанию на месте, к потере времени и к полному бессилию»* [13]. Таким забвением, к сожалению,

нередко страдала лесная наука и практика после периодических потрясений, которыми была «богата» история России. Только, к примеру, два значимых потрясения после известных двух «великих переломов» XX века (30-е и 90-е гг.) приводили не просто к переоценке всего исторически накопленного опыта, но и к его забвению, и к движению с нуля, с неоднократным повторением ошибок, чем богаты были и так называемые реформы после «лихих 90-х» гг., перечеркнувших все ранее достигнутое, в т. ч. и роль государства для его народа. Именно государство, его функции должны служить народу во всех его испытаниях, обеспечивая ему первенство общественных интересов перед частными, не допуская злоупотребления последними в интересах антинародных сил, чем и были чреваты «лихие 90-е гг.» *История России неоднократно доказала, что только государство способно сохранить леса и вести в них лесное хозяйство в общественных интересах* [14–17].

Вот почему именно с налаживания государственного управления лесами возможна организация устойчивого развития лесного сектора экономики, притом в общественных интересах. Особенно это важно для обширной территории нашей страны с неравномерным размещением лесов и населения по отдельным регионам, имеющим различные природные и экономические условия. *Без регуливающей роли государства невозможно наладить баланс интересов всех субъектов лесных отношений для обеспечения спроса и потребления разнообразных продуктов и услуг леса всеми слоями населения*. При этом в системе органов управления особенно важен федеральный уровень для организации стратегического лесного планирования на всех соподчиненных между собою уровнях управления лесами — федеральном, межрегиональном, субъектном и местном. Как указано ранее относительно методологии планирования, *особое значение имеет межрегиональный уровень, в виде крупных экономических регионов*, в рамках которых формируется спрос территориально тяготеющих к ним потребителей внутреннего и внешнего рынков, притом на определенный круг ресурсов и услуг леса [18]. Например, Дальневосточный регион обречен обслуживать интересы стран, расположенных на юго-востоке в акватории Тихого океана. К Сибирскому региону тяготеют потребители Китая и Средней Азии. Северо-Западный регион вынужден ориентирован на страны Западной Европы. Во всех перечисленных регионах внутренний спрос по размеру уступает внешнему, который поэтому требует не только изучения, но и учета на долгосрочную перспективу. Что касается Центрального, Уральского, Поволжского и Южного регионов, то они со-

ставляют *территорию эпицентра внутреннего лесопотребления*.

Для каждого из названных регионов должна вырабатываться адекватная им государственная лесная политика, которая будет, соответственно, моделировать и государственную лесную политику для входящих в их состав субъектов РФ, а в рамках последних — и планы на местных уровнях управления лесами.

Но функция стратегического планирования обязывает федеральный уровень вырабатывать и механизм ее реализации, а также контроль за выполнением принятых решений и периодическую их корректировку при изменении условий внутренней и внешней среды. На федеральный орган управления лесами следует возложить также *обязанность регулирования лесного законодательства*, которое должно обеспечивать своевременное принятие законов для выполнения особенно значимых решений, в том числе и в сфере лесных отношений между основными его субъектами. В действительности, до сих пор федеральный орган управления, в юридическом лице Рослесхоза, не обладает даже законодательной инициативой.

В своих действиях орган управления федерального уровня будет опираться на соподчиненные ему региональные и местные уровни, которые ныне оторваны от него, что парализовало всю систему лесопользования. Важно сохранить порядок совместного согласования состава и руководства на региональном уровне управления, оправдавшем себя в бывший советский период, без потерь прав соподчиненности федеральному и региональному уровню республиканского правительства.

В рамках государственной системы лесопользования во все времена особое значение имел местный уровень в лице лесничества, где и сосредоточивались основные проблемы и противоречия, возникавшие между основными субъектами лесных отношений. Господствовал девиз: *«лесничий — сердце и душа лесопользования»*. Именно на лесничество и его руководство приходится *вся тяжесть ответственности за состояние лесов как государственного имущества*.

При нынешнем положении дел лесничество и его руководитель — это фикция. И то, и другое утратило свое прежнее значение. Все сведено якобы к надзору, а инспектор, в лице нынешнего лесничего, ничего существенного не решает, тем более что площадь лесов, приходящаяся на каждого из них, непосильна для контроля за всем происходящим. Поэтому в действительности *в лесу открыты ворота для широкого воровства*, что и происходит не только со стороны так называемых «черных лесорубов», но и самих арендаторов, которые в условиях безнаказанности творят все, что им заблагорассудится.

Поэтому, безусловно, прав бывший арендатор Филиппов, на которого мы уже ссылались, в том, что надо не просто восстановить лесничество, а так укрепить их, чтобы под руководством лесничего в рамках лесопользовательного плана оно контролировало места отвода древостоев в рубку, их стоимостную оценку (об этом будем далее), а также проведение всех лесохозяйственных мероприятий с их оплатой. Без этого условия навести порядок в лесу нет возможности.

Однако следует вернуться и к функциям местного управления лесами. В нынешний Лесной кодекс введен «дремучий архаизм», не допускающий, чтобы в лесничествах совмещали функции государственного управления лесами и заготовки древесины. К сведению, Финляндия, бывшая царская окраина России, которая ныне выступает в мире *«законодательницей лесных мод»*, сохранив за лесничествами в государственных лесах совмещение прав управления лесами и заготовки древесины с реализацией круглого леса в сортиментах основным потребителям по рыночным ценам, обеспечивает не только большой доход государству, но и содержит леса в прекрасном состоянии. Кстати, на таких же условиях работают и лесничества в Германии, которая, как известно, является «колыбелью мировой лесной науки и практики». Такие же примеры имеют место и в других странах. Профессор М.М. Орлов даже писал по этому поводу, что выгоднее продавать лес не на корню, а в заготовленном виде, ибо под руководством лесничего и его аппарата достигается большая культура рубок и более высокий лесной доход. После распада СЭВ Польша, например, сохранила такой же порядок совмещения управления лесами и торговли заготовленными сортиментами, обеспечивая более высокую рентабельность лесного хозяйства.

В многолесных районах, где уже леса распределены между арендаторами, за лесничествами следует закрепить обязанности по упорядочению действий арендаторов. Но, что касается малолесных, и тех среднелесистых районов, где нет арендаторов, то, безусловно, целесообразно возложить на лесничества и организацию лесопользования, с привлечением малого и среднего бизнеса на основе «купли-продажи» или своими силами, привлекая и готовя свою рабочую силу, особенно, что касается санитарных и рубок ухода.

В тех же регионах, где доминируют защитные леса, должна быть высокая культура проводимых лесоводственных мероприятий, которую не обеспечивают арендаторы, заинтересованные лишь в прибыли, получаемой любой ценой. К числу таких регионов относится, например, Московская обл., леса которой служат для массового отдыха. Аренда в рекреационных целях здесь нередко скрывает приватизацию лесов. Именно поэтому

на лесничества следует возлагать организацию многоцелевого лесного хозяйства, в том числе и для рекреационных целей, путем формирования ландшафтов высокой эстетической ценности, а получаемая древесина после соответствующих способов рубок, адекватных целям лесов, может и должна реализовываться в круглом виде.

Однако есть и актуальный вопрос для нынешней неупорядоченной практики — это стоимостная оценка лесов, отводимых в рубку, и ориентация лесного хозяйства на самокупаемость.

За последние десятилетия России так и не удалось перевести лесное хозяйство в цивилизованные рыночные отношения и передавать леса арендаторам в рубку по рыночным ценам. При этом арендная плата устанавливается административным путем, на уровне так называемых *«минимальных ставок»*, что приводит к неизмеримому снижению лесного дохода, уступающего в 2 раза выделяемым за счет бюджета расходам, которые, в свою очередь, не обеспечивают даже простой уровень воспроизводства используемых ресурсов леса. Сам чистый доход в виде ренты присваивают арендаторы, о чем свидетельствует широко распространенная перепродажа ими лесов, уже переданных в аренду. Об этом в свое время докладывал президенту России В.В. Путину бывший руководитель Рослесхоза А.И. Савинов, отмечая, что арендатору передаются леса в аренду по 30...50 руб. за м³, а они перепродают их за 300...500 руб. за м³, т. е. в 10 раз выше. Об этом же в своем докладе 25.04.2017 г. говорил на оргкомитете по проведению Года экологии в России зам. министра природных ресурсов и экологии РФ руководитель Рослесхоза В.И. Валентик, отмечая, что *«многие наиболее экономически доступные участки находятся у перекупщиков. Сегодня средняя цена продажи древесины составляет около 500 руб. за м³ ... консолидированный бюджет ежегодно недополучает около 90 млрд руб.»*, или в 3 раза больше нынешней величины лесного дохода [19–22].

По договору с Рослесхозом, рабочая группа экономистов, включая и автора данной статьи, разработала рекомендации по определению рыночных цен на древесину, отводимую в рубку, которые опубликованы в «Лесном вестнике» № 2 за 2018 г. [20].

Мы уже писали ранее, что переход на рыночные цены на основе рентных платежей и на механизм их распределения между субъектами лесных отношений для организации баланса их экономических интересов явится необходимым недостающим звеном для упорядочения использования лесов и их воспроизводства и основой для устойчивого управления лесами и развития лесного сектора экономики России, а следовательно, и для прорыва в этой отрасли России.

Список литературы

- [1] Самарин С. Возможен ли прорыв в России? // Мир новостей, 07.06.2018, № 24 (1276). URL: <https://mimov.ru/ekonomika/vozmozhen-li-proryv-v-rossii.html> (дата обращения 17.01.2019).
- [2] Трегубов А. ВВП напомнили его слова о «бюрократической мертвечине» // Московский комсомолец, 17.12.2018. С. 7.
- [3] 29.12.2018: Владимир Путин: «Нам нужен прорыв» // Русский вестник. URL: <http://www.rv.ru/content.php3?id=12841> (дата обращения 17.01.2019).
- [4] Неруш Б.А. Президент России просит о «прорывах» во всех сферах // Эко-потенциал, 2019, № 3(23), С. 211–216.
- [5] Моисеев Н.А. Лесные дела за частоколом других проблем // Лесная газета, 22.08.2009, № 63 (10013).
- [6] Морозов В. Нужна стратегия на 100 лет // Аргументы и факты, 2018, №50. С. 7.
- [7] Филиппов А. Губят лес не короеды, а существа на двух ногах // Аргументы и факты, 2018, № 50. С. 7.
- [8] Лобовиков Т.С. Аренда лесов: за и против // Лесная промышленность, 05.10.1989 г.
- [9] Путин: «Лес нужно спасать и от незаконных вырубок» // Лесная газета, 12.04.2013. URL: <https://zab.ru/news/56009> (дата обращения 17.01.2019).
- [10] Моисеев Н.А. Экономика лесного хозяйства. М.: МГУЛ, 2012. 399 с.
- [11] Глазьев М.С. Главная проблема // Завтра, 2019. № 1 (1308). С. 4.
- [12] von Weizsacher E.U., Wijkman A. Come on! Capitalism, Short – termism, Population and the Destruction of the Planet. A Report to the Club of Rome. N.-Y.: Springer Scien + Buisness Media, LLC 2018, 220 p.
- [13] Орлов М.М. Очерки лесостроительства в его современной практике. М.-Л.: Новая Москва, 1924. 304 с.
- [14] Орлов М.М. Лесоуправление (Классики отечественного лесоводства) / под ред. М.Д. Гиряева, Д.М. Гиряева, А.И. Писаренко, С.А. Родина, В.П. Тарасенко М.: Лесная пром-сть, 2006. 480 с.
- [15] Орлов М.М. Лесоуправление как исполнение лесостроительного планирования. М.: Лесная пром-сть, 2006. 479 с.
- [16] Арнольд Ф.К. История лесоводства (репринтное издание 1895 г.). М.: МГУЛ, 2004. 403 с.
- [17] Моисеев Н.А., Третьяков А.Г., Трейфельд Р.Ф. Лесоустройство в России. Исторический анализ лесостроительства в России и концепция его возрождения в условиях рыночной экономики. М.: МГУЛ, 2014. 268 с.
- [18] Моисеев Н.А. Методология и организация формирования стратегии лесопользования и развития лесного сектора экономики // Леса России: проблемы, решения. М.: Вектор ТиС, 2010, 632 с.
- [19] Чего хочет Рослесхоз // Лесная газета, 27.07.2017 г. С. 1–2.
- [20] Моисеев Н.А. Методические рекомендации по определению рыночных цен древесины на корню и совершенствованию экономического механизма устойчивого управления лесами // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 2. С. 35–40. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-2-35-40
- [21] Санаев В.Г. Древесиноведение в системе лесного хозяйства. М.: МГУЛ, 2007. 180 с.
- [22] Путин В.В. Минерально-сырьевые ресурсы в стратегии развития российской экономики // Россия в окружающем мире, 2000. Аналитический ежегодник / отв. ред. Н.Н. Марфенин; под общ. ред. Н.Н. Моисеева, С.А. Степанова. М.: МНЭПУ, 2000. 328 с.

Сведения об авторе

Моисеев Николай Александрович — д-р с.-х. наук, профессор, академик РАН, член Исполкома и Международного совета IUFRO, главный научный сотрудник ВНИИЛМ, forestvniilm@yandex.ru

Поступила в редакцию 04.02.2019.

Принята к публикации 04.02.2019.

WHAT KIND OF BREAKTHROUGH IN THE FOREST AFFAIRS OF RUSSIA CAN AND SHOULD BE DISCUSSED?

N.A. Moiseev

All-Russian Research Institute of Silviculture and Mechanizations of Forestry, 15, Institutskaya st., 141200, Pushkino, Moscow reg., Russia

forestvniilm@yandex.ru

In the article a possible alternative was proposed to implement the breakthrough, taking into account the appeal of Russian President Vladimir Putin to ensure «breakthroughs in all spheres of life», by using the example of forest management and the forest sector development of the Russian economy. At the same time, an analysis of the initial situation in this area is given, the main shortcomings and the reasons that caused them are identified, as well as measures for their eradication and the mechanism for their implementation are justified. Particular attention is paid to strengthening the state forest management system throughout the federal vertical, strategic forest planning and streamlining forest relations in order to organize the balance of the main subjects.

Keywords: state forest management system on the federal vertical; strategic forest planning; forest legislation; market prices of timber on the vine

Suggested citation: Moiseev N.A. *O kakom proryve v lesnykh delakh Rossii mozhet i dolzhna by idti rech'?* [What kind of breakthrough in the forest affairs of Russia can and should be discussed?]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2019, vol. 23, no. 5, pp. 8–15. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-5-8-15

References

- [1] Samarina S. *Vozmozhno li proryv v Rossii?* [Is a breakthrough possible in Russia?]. *Mir novostey* [The world of news], 07.06.2018, no. 24 (1276). Available at: <https://mirnov.ru/ekonomika/vozmozhen-li-proryv-v-rossii.html> (accessed 17.01.2019).
- [2] Tregubov A. *VVP napomnili ego slova o «byurokraticheskoy mertvechine»* [GDP reminded him of the «bureaucratic carrion»]. *Moskovsky Komsomolets*, 17.12.2018, p. 7.
- [3] 29.12.2018: *Vladimir Putin: «Nam nuzhen proryv»* [12.29.2018: Vladimir Putin: «We need a breakthrough»]. *Russkiy vestnik* [Russian Bulletin]. Available at: <http://www.rv.ru/content.php3?id=12841> (accessed 17.01.2019).
- [4] Nerush B.A. *Prezident Rossii prosit o «proryvakh» vo vsekh sferakh* [The President of Russia asks for «breakthroughs» in all spheres]. *Eco-potential*, 2019, no. 3 (23), pp. 211–216.
- [5] Moiseev N.A. *Lesnye dela za chastokolom drugikh problem* [Forest affairs behind a palisade of other problems]. *Lesnaya gazeta*, 08.22.2009, no. 63 (10013).
- [6] Morozov V. *Nuzhna strategiya na 100 let* [Need a strategy for 100 years]. *Argumenty i fakty* [Arguments and Facts], 2018, no. 50, p. 7.
- [7] Filippov A. *Gubyat les ne koroedy, a sushchestva na dvukh nogakh* [Ruining the forest is not bark beetles, but creatures on two legs]. *Argumenty i fakty* [Arguments and Facts], 2018, no. 50, p. 7.
- [8] Lobovikov T.S. *Arenda lesov: za i protiv* [Forest rent: the pros and cons]. *Lesnaya promyshlennost'* [Forest industry], 10.05.1989.
- [9] Putin: «Les nuzhno spasat' i ot nezakonnnykh vyrubok» [Putin: «The forest needs to be saved from illegal logging»]. *Lesnaya gazeta* [Forest newspaper], 12.04.2013. Available at: <https://zab.ru/news/56009> (accessed 17.01.2019).
- [10] Moiseev N.A. *Ekonomika lesnogo khozyaystva* [Forestry Economics]. Moscow: MGU, 2012, 399 p.
- [11] Glaz'ev M.S. *Glavnaya problema* [The main problem]. *Tomorrow*, 2019, no. 1 (1308), p. 4.
- [12] von Weizsacher E.U., Wijkman A. *Come on! Capitalism, Short-termism, Population and the Destruction of the Planet. A Report to the Club of Rome*. N.-Y.: Springer Scien + Buisness Media, LLC 2018, 220 p.
- [13] Orlov M.M. *Oчерки лесоводства в его современной практике* [Sketches of forest management in its modern practice]. M.-L.: New Moscow, 1924, 304 p.
- [14] Orlov M.M. *Lesoupravlenie (Klassiki otechestvennogo lesovodstva)* [Forest management (Classics of domestic forestry)]. Eds. M.D. Giryayev, D.M. Giryayev, A.I. Pisarenko, S.A. Rodin, V.P. Tarasenko. Moscow: Lesnaya prom-st' [Forest Industry Publ.], 2006, 480 p.
- [15] Orlov M.M. *Lesoupravlenie kak ispolnenie lesoustroitel'nogo planirovaniya* [Forest management, as the implementation of forest management planning]. Moscow: Lesnaya prom-st' [Forest Industry Publ.], 2006, 479 p.
- [16] Arnol'd F.K. *Istoriya lesovodstva (reprintnoe izdanie 1895 g.)* [History of forestry (reprint edition of 1895)]. Moscow: MGUL, 2004, 403 p.

- [17] Moiseev N.A., Tret'yakov A.G., Treyfel'd R.F. *Lesoustroystvo v Rossii. Istoricheskiy analiz lesoustroystva v Rossii i kontseptsiya ego vozrozhdeniya v usloviyakh rynochnoy ekonomiki* [Forest management in Russia. Historical analysis of forest management in Russia and the concept of its revival in a market economy]. Moscow: MGUL, 2014, 268 p.
- [18] Moiseev N.A. *Metodologiya i organizatsiya formirovaniya strategii lesoupravleniya i razvitiya lesnogo sektora ekonomiki* [Methodology and organization of the formation of the strategy of forest management and the development of the forest sector of the economy] *Lesa Rossii: problemy, resheniya* [Forests of Russia: problems, solutions]. Moscow: Vector TiS, 2010, 632 p.
- [19] *Chego khochet Rosleskhoz* [What Rosleskhoz wants] *Lesnaya gazeta* [Forest newspaper], 27.07. 2017, pp. 1–2.
- [20] Moiseev N.A. *Metodicheskie rekomendatsii po opredeleniyu rynochnykh tsen drevesiny na kornyu i sovershenstvovaniyu ekonomicheskogo mekhanizma ustoychivogo upravleniya lesami* [Guidelines for determining the market prices of standing timber and improving the economic mechanism of sustainable forest management] // *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 2, pp. 35–40. DOI: 10.18698 / 2542-1468-2018-2-35-40
- [21] Sanaev V.G. *Drevesinovedenie v sisteme lesnogo khozyaystva* [Wood Science in the Forestry System]. Moscow: MSFU, 2007. 180 p.
- [22] Putin V.V. *Mineral'no-syr'evye resursy v strategii razvitiya rossiyskoy ekonomiki* [Mineral resources in the development strategy of the Russian economy]. *Rossiya v okruzhayushchem mire* [Russia in the World], 2000. Analytical Yearbook. Ed. N.N. Marfenin; under the general ed. N.N. Moiseev, S.A. Stepanov. Moscow: MNEPU, 2000. 328 p.

Author's information

Moiseev Nikolay Aleksandrovich — Dr. Sci. (Agriculture), Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Member of the Executive Committee of IUFRO and its International Council, Chief Scientific Officer of All-Russian Research Institute of Silviculture and Mechanizations of Forestry (VNIILM), forestvniilm@yandex.ru

Received 04.02.2019.

Accepted for publication 04.02.2019.

ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВНОСТИ СОРТОВ БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ (*BETULA PENDULA* ROTH.) ДЛЯ ОЗЕЛЕНЕНИЯ ГОРОДОВ НА ПРИМЕРЕ Г. ЕКАТЕРИНБУРГА

М.В. Соловьева, Я.А. Крекова, С.В. Залесов

ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», 620100, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, д. 37
zalesov@usfeu.ru

В соответствии с методикой Главного ботанического сада, доработанной с учетом местных условий, выполнен анализ перспективности использования при озеленении г. Екатеринбурга березы повислой сортов *Youngii* и *Purpurea*. Показано, что сорт *Youngii* относится к самым перспективным, а сорт *Purpurea* менее перспективен. Сорт березы повислой *Youngii* рекомендуется для широкого использования в озеленении г. Екатеринбурга, а после опытно-производственной проверки и в других северных городах.

Ключевые слова: береза повислая (*Betula pendula* Roth.), сорта *Youngii*, *Purpurea*, озеленение, устойчивость, декоративность

Ссылка для цитирования: Соловьева М.В., Крекова Я.А., Залесов С.В. Оценка перспективности сортов березы повислой (*Betula pendula* Roth.) для озеленения городов на примере г. Екатеринбурга // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2019. Т. 23. № 5. С. 16–21. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-5-16-21

Береза повислая (*Betula pendula* Roth.) — один из наиболее распространенных на территории Российской Федерации видов древесных растений. Березняки в покрытой лесной растительностью площади занимают третье место после лиственничников и сосняков, а на Среднем Урале — первое [1]. Помимо быстроты роста и высокой устойчивости к негативным природным и антропогенным воздействиям береза повислая характеризуется широким спектром внутривидовой изменчивости [2–5], что расширяет ее возможности для использования в озеленении и лесоразведении.

Как вид — абориген таежной зоны и северных подзон лесостепной, а также предлесостепных сосново-березовых лесов береза повислая широко используется при лесовосстановлении, лесоразведении и озеленении [6–11]. Деревья этого вида формируют как площадные, так и линейные объекты озеленения (рис. 1).

Для формирования ландшафтных композиций рекомендуется использовать деревья, различающиеся по высоте и форме кроны. Следует учесть, что не всегда регулярная обрезка кроны обеспечивает нужную ее форму.

В настоящее время на рынке востребованы различные виды, формы и сорта декоративно привлекательных интродуцентов для создания пейзажных композиций, что обуславливает их масштабный завоз из стран ближнего и дальнего зарубежья. Однако завозимые виды, формы и сорта, не прошедшие испытаний на устойчивость в конкретных условиях выращивания, нередко гибнут в первую же зиму, что не только не оправдывает финансовые затраты, но и дискредитирует идею использования интродуцентов при



Рис. 1. Аллея березы повислой
Fig. 1. Drooping birch alley

озеленении. Таким образом, назрела необходимость проведения по единой методике оценки перспективности завозимых интродуцентов, что и определило направление наших исследований [12–27].

Цель работы

Работа посвящена установлению перспективности сортов березы повислой *B. pendula Youngii* и *B. pendula Purpurea* для использования при озеленении в условиях г. Екатеринбурга.

Материалы и методы

Оценку перспективности сортов березы повислой *Youngii* и *Purpurea* проводили в соответствии с требованиями методики Главного ботанического сада РАН [16], уточненной на основе регионального опыта [17, 18].

Т а б л и ц а 1

**Шкала оценки перспективности
интродукции
Introduction Prospect Scale**

Номер класса	Перспективность	Сумма баллов для цветущей особи
1	Самые перспективные	91...100
2	Перспективные	76...90
3	Менее перспективные	61...75
4	Малоперспективные	41...60
5	Неперспективные	21...40
6	Непригодные	5...20

В качестве показателей оценки перспективности растений и возможности их использования при озеленении были использованы следующие: степень вызревания побегов; зимостойкость; сохранение габитуса; побегообразовательная способность; прирост растений в высоту; способность растений к генеративному развитию; возможность размножения в культуре; сохранность. Каждый показатель, за исключением сохранности, оценивался в баллах. Сумма баллов служила интегральным показателем успешности интродукции сорта. При этом всего было выделено шесть классов перспективности (табл. 1).

Сохранность сорта устанавливалась как отношение количества экземпляров, имеющих на момент проведения исследований, к общему количеству высаженных растений.

Объектами исследований служили растения березы повислой сортов *Youngii* и *Purpurea*.

Исследования проводились на территории г. Екатеринбурга Свердловской области. Согласно схеме лесорастительного районирования [19], указанная территория относится к южнотаежному округу Зауральской холмисто-предгорной провинции Западно-Сибирской равнинной лесорастительной области.

Результаты и обсуждение

Береза повислая сорта *Youngii* представлена преимущественно экземплярами привитыми на штамб березы повислой (рис. 2).

Сорт представляет собой карликовое медленнорастущее дерево с красивой зонтичной формой кроны и белым цветом коры ствола.

Экземпляры березы повислой сорта *Youngii* поступают в г. Екатеринбург из лесных питомников Польши. Четыре экземпляра этого растения были завезены в питомник в 2012 г., пять — в 2014 г. и 20 экземпляров завезли в 2016 г. Саженцы имели высоту от 2 до 3,5 м, окружность ствола на высоте 1,3 м составляла от 16 до 26 см.



Рис. 2. Внешний вид березы повислой сорта *Youngii* — *Betula pendula Youngii*

Fig. 2. Habit of the drooping birch *Youngii* variety — *Betula pendula Youngii*



Рис. 3. Экземпляр березы повислой сорта *Youngii* (лето 2017 г.), высаженный в 2014 г.

Fig. 3. A specimen of drooping birch variety *Youngii* (summer 2017), planted in 2014

Т а б л и ц а 2

Оценка перспективности березы повислой сорта Youngii
Prospects assessment of drooping birch variety Youngii

Показатель	Оценка	Шкала оценивания, баллы
Степень ежегодного вызревания побегов	Вызревание на 100 %	20
Зимостойкость растений	Обмерзание не более 50 % длины однолетних побегов	24
Сохранение габитуса	Сохранение присущей им формы роста и жизненной формы	10
Побегообразовательная способность	Отсутствие восстановления веток после обмерзания или обгорания, непрорастание новых побегов, «закрытие» оголенных участков только с помощью формирования кустистости от неповрежденных ветвей	3
Прирост растений в высоту/длину ветвей (штамб практически не растет)	Ежегодный прирост	5
Способность растений к генеративному развитию	Полное созревание семян	25
Возможные способы размножения в культуре	Размножение при искусственном посеве	5
Интегральная оценка успешности интродукции		92

Т а б л и ц а 3

Оценка успешности интродукции березы повислой сорта Purpurea в г. Екатеринбурге
Success introduction assessment of o birch variety Purpurea in Yekaterinburg

Показатель	Оценка	Шкала оценивания, баллы
Степень ежегодного вызревания побегов	Вызревание на 100 %	20
Зимостойкость растений	Отсутствие повреждений	25
Сохранение габитуса	Сохранение присущей формы роста и жизненной формы	10
Побегообразовательная способность	Средняя	3
Прирост растений в высоту/длину ветвей (штамб практически не растет)	Ежегодный прирост	5
Способность растений к генеративному развитию	Отсутствие цветения	1
Возможные способы размножения в культуре	Повторное привлечение растений извне	1
Интегральная оценка успешности интродукции		65

После посадки, растения «уходят» в зиму, как правило, не подготовленными, что можно установить по непопадающей листве и частичному обмерзанию части побегов. Однако такое явление фиксируется лишь в первые две зимы после посадки. Затем акклиматизация растений завершается и они адаптируются к условиям г. Екатеринбурга (рис. 3).

Береза сорта Youngii неприхотлива, не требует особого ухода и защитных мероприятий в холодное время года. В условиях г. Екатеринбурга цветение и плодоношение растений соответствуют норме (табл. 2). Как следует из табл. 2 по сумме в 92 балла указанный сорт березы повислой относится к самым перспективным древесным растениям, следовательно, его можно рекомендовать для широкого использования при озеленении г. Екатеринбурга.

Поскольку сорт размножается семенами, следует провести исследования по выращиванию растений из семян, а также разработать рекомендации по формированию ландшафтных композиций с использованием указанного сорта.

Сравнительно новым сортом березы повислой (*B. pendula* Roth.) является сорт Purpurea — *B. pendula* Purpurea. Нами была установлена перспективность сорта по 4 экз. высотой 150 см, высаженным осенью 2015 г., и двумя саженцами высотой 350 и 400 см, высаженными весной 2014 г.

На июль 2017 г. все растения сохранились, но не зацвели. Рост и ветвление у растений были слабые, что на наш взгляд, объясняется незавершенной акклиматизацией. Не зафиксировано повреждений почек, стволов и ветвей растений вследствие перенесенных ими низких зимних

температур. О продолжающемся процессе акклиматизации свидетельствовала только не опавшая к зиме листва.

Проведенные краткосрочные наблюдения позволяют дать предварительную оценку перспективности сорта березы повислой *Purpurea* (табл. 3).

Предварительно данный сорт березы повислой оценивается как менее перспективный. Однако, как уже отмечалось, относительно низкий уровень перспективности сорта можно объяснить незаконченностью периода адаптации и отсутствием способности к размножению. В то же время необычный цвет листьев позволяет его использовать при создании ландшафтных композиций, т. е. исследования перспективности березы повислой сорта *Purpurea* следует продолжить, а такой основной недостаток растения, как отсутствие семенности, можно компенсировать, разработав технологию клонального размножения.

Выводы

1. Расширение биоразнообразия и ассортимента видов, форм и сортов для озеленения городов можно обеспечить интродукцией растений.

2. Для условий г. Екатеринбурга одним из наиболее перспективных сортов березы повислой (*B. pendula* Roth.) является сорт *Youngii*, который по данным оценки перспективности относится к самым перспективным.

3. Сорт березы повислой *Purpurea* оценивается как «менее перспективный».

4. Сорт березы повислой *Youngii* рекомендуется для использования при озеленении г. Екатеринбурга и для расширения биоразнообразия лесопарков города.

5. Оригинальность сорта *Purpurea* вызывает необходимость расширения исследований по его интродукции и планированию.

6. Использование указанных сортов березы повислой при озеленении г. Екатеринбурга существенно повысит декоративную привлекательность объектов озеленения.

Список литературы

- [1] Луганский Н.А., Лысов Л.А. Березняки Среднего Урала. Свердловск: УГЛТУ, 1991. 100 с.
- [2] Махнев А.К. Внутривидовая изменчивость и популяционная структура берез секции *Albae* и *Nanae*. М.: Наука, 1987. 129 с.
- [3] Коновалов В.Ф., Янбаев Ю.А., Чурагулова З.С. Популяционная структура и сохранение генофонда березы повислой на Южном Урале. Уфа: БГАУ, 2003. 266 с.
- [4] Коновалов В.Ф. Береза повислая на Южном Урале: структура популяций, селекция и воспроизводство: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Йошкар-Ола, 2003. 40 с.
- [5] Данченко А.М. Популяционная изменчивость березы. Новосибирск: Наука, 1990. 205 с.
- [6] Фрейберг И.А., Залесов С.В., Толкач О.В. Опыт создания искусственных насаждений в лесостепи Зауралья. Екатеринбург: УГЛТУ, 2012. 121 с.
- [7] Казанцев С.Г., Залесов С.В., Залесов А.С. Оптимизация лесопользования в производных березняках Среднего Урала. Екатеринбург: УГЛТУ, 2006. 156 с.
- [8] Оплетаев А.С., Залесов С.В. Переформирование производных мягколиственных насаждений в лиственничники на Южном Урале. Екатеринбург: УГЛТУ, 2014. 158 с.
- [9] Залесов С.В., Азбаев Б.О., Данчева А.В., Рахимжанов А.Н., Ражанов М.Р., Суондииков Ж.О. Искусственное лесоразведение вокруг г. Астаны // Современные проблемы науки и образования, 2014. № 4. URL: www.science-education.ru/118-13438 (дата обращения 02.04.2018).
- [10] Залесов С.В., Белов Л.А., Залесова Е.С., Оплетаев А.С., Суондииков Ж.О. Надземная фитомасса искусственных березовых насаждений в санитарно-защитной зоне г. Астаны // Аграрный вестник Урала, 2014. № 9 (127). С. 68–71.
- [11] Залесов С.В., Азбаев Б.О., Белов Л.А., Суондииков Ж.О., Залесова Е.С., Оплетаев А.С. Использование показателя флуктуирующей асимметрии березы повислой для оценки ее состояния // Современные проблемы науки и образования, 2014. № 8 (126). С. 46–49.
- [12] Суондииков Ж.О., Данчева А.В., Залесов С.В., Ражанов М.Р., Рахимжанов А.Н. Арборетум лесного питомника «Ак кайын» РГП «Жасыл Аймак». Екатеринбург: УГЛТУ, 2017. 92 с. URL: <http://elar.usfeu.ru/bitstream/123456789/6618/Arboretum.pdf> (дата обращения 05.05.2018).
- [13] Гусев А.В. Перспективность использования древесных интродуцентов в озеленении г. Ханты-Мансийска (средняя подзона тайги Западной Сибири): автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Екатеринбург, 2011. 20 с.
- [14] Соловьева М.В., Залесов С.В., Залесова Е.С., Крекова Я.А., Оплетаев А.С. Перспективность сортов ели колючей (*Picea pungens* Engelm.) для озеленения северных городов // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии имени В.Р. Филиппова, 2019. № 2 (55). С. 121–129.
- [15] Варакин Г.С. Перспективы использования интродуцентов при озеленении в степных условиях Хакасии // Плодоводство, семеноводство, интродукция древесных растений, 2018. Т. 21. С. 49–51.
- [16] Куприянов А.Н. Интродукция растений. Кемерово: Кузбассвузиздат, 2004. 96 с.
- [17] Гусев А.В., Залесов С.В., Сарсекова Д.Н. Методика определения перспективности интродукции древесных растений // Материалы VII международной научно-технической конференции «Социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса в рамках концепции 2020», Екатеринбург, УГЛТУ, 01 января–31 декабря 2009 г. Екатеринбург: УГЛТУ, 2009. Ч. 2. С. 271–275.
- [18] Залесов С.В., Платонов Е.П., Гусев А.В. Перспективность древесных интродуцентов для озеленения в условиях средней подзоны тайги Западной Сибири // Аграрный вестник Урала, 2011. № 4 (83). С. 56–58.
- [19] Колесников Б.П., Зубарева П.С., Смолоногов Е.П. Лесорастительные условия и типы лесов Свердловской области. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1974. 177 с.
- [20] Рысин Л.П. Лесная типология в СССР. М.: Наука, 1982. 216 с.
- [21] Сукачев В.Н. Избранные труды. Т. I. Л.: Наука, 1972. 420 с.
- [22] Мелехов И. С. Динамическая типология леса // Лесное хозяйство, 1968. № 3. С. 15–21.
- [23] Мелехов И.С. Лесоведение. М.: Лесная промышленность, 1980. 497 с.

- [24] Мигунова Е.С. Лесоводство и естественные науки (ботаника, география, почвоведение). М.: МГУЛ, 2007. 593 с.
- [25] Погребняк П.С. Общее лесоводство. М.: Колос, 1968. 44 с.
- [26] Рысин Л.П., Савельева Л.И. Кадастры типов леса и типов лесных биогеоценозов. М.: Товарищества научных изданий КМК, 2007. 149 с.
- [27] Колесников Б.П. Зонально-типологические географические системы ведения лесного хозяйства. Леса Урала и хозяйство в них. Свердловск: Средне-Уральское книжное издательство, 1978. С. 3–16.

Сведения об авторах

Соловьева Мария Владимировна — магистрант кафедры лесоводства ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет».

Крекова Яна Алексеевна — аспирант кафедры лесоводства ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет».

Залесов Сергей Вениаминович — д-р с.-х. наук, профессор, проректор по научной работе, заведующий кафедрой лесоводства ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», zalesov@usfeu.ru

Поступила в редакцию 17.04.2018.

Принята к публикации 15.01.2019.

PROSPECT ASSESSMENT OF BIRCH VARIETIES (*BETULA PENDULA* ROTH.) FOR URBAN GREENING ON THE EXAMPLE OF THE CITY OF YEKATERINBURG

M.V. Solovyeva, Ya.A. Krekova, S.V. Zalesov

Ural State Forest Engineering University, 37, Sibirskiy Trakt st., Ekaterinburg, 620100, Russia

zalesov@usfeu.ru

An accordance with the methods of the Main Botanic Garden elaborated taking in to account local conditions the perceptiveness drooping Youngii and Purpurea utilization analysis in landscape gardening of Ekaterinburg has been carried out. The researches have shown that the sort Youngii refers to the most perspective and the sort Purpurea is less perspective. The above mentioned make it possible to recommend the drooping birch Youngii for wide utilization in landscape gardening of Ekaterinburg and after experimental — industrial verification in other northern towns. The sort Purpurea needs further studying, as well as working out methods of its clonal propagation.

Keywords: drooping birch, sorts Youngii, Purpurea, landscape gardening, stability, decorativity

Suggested citation: Solovyeva M.V., Krekova Ya.A., Zalesov S.V. *Otsenka perspektivnosti sortov berezy povisloy (Betula pendula Roth.) dlya ozeleneniya gorodov na primere g. Ekaterinburga* [Prospect assessment of birch varieties (*Betula pendula* Roth.) for urban greening on the example of the city of Yekaterinburg]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2019, vol. 23, no. 5, pp. 16–21. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-5-16-21

References

- [1] Luganskiy N.A., Lysov L.A. *Bereznyaki Srednego Urala* [Birch Middle Ural]. Sverdlovsk: UGLTU, 1991, 100 p.
- [2] Makhnev A.K. *Vnutrividovaya izmenchivost' i populyatsionnaya struktura berez sektsii Albae i Nanae* [Intraspecific variability and population structure of the birches of the section Albae and Nanae]. Moscow: Science, 1987, 129 p.
- [3] Konovalov V.F., Yanbaev Yu.A., Churagulova Z.S. *Populyatsionnaya struktura i sokhranenie genofonda berezy povisloy na Yuzhnom Urale* [Population structure and preservation of birch hung genofund in the Southern Urals]. Ufa: BGAU, 2003, 266 p.
- [4] Konovalov V.F. *Bereza povislaya na Yuzhnom Urale: struktura populyatsiy, selektsiya i vosproizvodstvo: avtoref. dis. ... d-ra s.-kh. nauk* [Hanging birch in the South Urals: population structure, selection and reproduction: author. Dis. ... Dr. Sci. (Agric.)]. Yoshkar-Ola, 2003, 40 p.
- [5] Danchenko A.M. *Populyatsionnaya izmenchivost' berezy* [Birch population variability]. Novosibirsk: Science. Sib. department, 1990, 205 p.
- [6] Freyberg I.A., Zalesov S.V., Tolkach O.V. *Opyt sozdaniya iskusstvennykh nasazhdeniy v lesostepi Zaural'ya* [The experience of creating artificial plantations in the forest steppe Zauralie]. Ekaterinburg: UGLTU, 2012, 121 p.
- [7] Kazantsev S.G., Zalesov S.V., Zalesov A.S. *Optimizatsiya lesopol'zovaniya v proizvodnykh bereznyakakh Srednego Urala* [Optimization of forest use in the birch forests of the Middle Urals]. Ekaterinburg: UGLTU, 2006, 156 p.
- [8] Opletaev A.S., Zalesov S.V. *Pereformirovanie proizvodnykh myagkolistvennykh nasazhdeniy v listvennichniki na Yuzhnom Urale* [Re-formation of derivatives of soft-leaved plantations into larch forests in the Southern Urals]. Ekaterinburg: UGLTU, 2014, 158 p.

- [9] Zalesov S.V., Azbaev B.O., Dancheva A.V., Rakhimzhanov A.N., Razhanov M.R., Suyundikov Zh.O. *Iskusstvennoe lesorazvedenie vokrug g. Astany* [Artificial afforestation around the city of Astana]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern Problems of Science and Education], 2014, no. 4. Available at: www.science-education.ru/118-13438 (accessed 02.04.2018).
- [10] Zalesov S.V., Belov L.A., Zalesova E.S., Opletaev A.S., Suyundikov Zh.O. *Nadzemnaya fitomassa iskusstvennykh berezovykh nasazhdeniy v sanitarno-zashchitnoy zone g. Astany* [Elevated phytomass of artificial birch stands in the sanitary protection zone of Astana city]. *Agrarnyy vestnik Urala* [Agrarian Bulletin of the Urals], 2014, no. 9 (127), pp. 68–71.
- [11] Zalesov S.V., Azbaev B.O., Belov L.A., Suyundikov Zh.O., Zalesova E.S., Opletaev A.S. *Ispol'zovanie pokazatelya fluktuiruyushchey asimmetrii berezy povisloy dlya otsenki ee sostoyaniya* [Using the indicator of fluctuating asymmetry of birch hanging to assess its condition]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education], 2014, no. 8 (126), pp. 46–49.
- [12] Suyundikov Zh.O., Dancheva A.V., Zalesov S.V., Razhanov M.R., Rakhimzhanov A.N. *Arboretum lesnogo pitomnika «Ak kayyn» RGP «Zhaysyl Ayamak»* [Arboretum of the Ak Kaiyn Forestry Nursery of the ZHPSL Aimak RSE]. Ekaterinburg: UGLTU, 2017. 92 p. Available at: <http://elar.usfeu/en/bitstream/123456789/6618/Arboretum.pdf> (accessed 05.05.2018).
- [13] Gusev A.V. *Perspektivnost' ispol'zovaniya drevesnykh introdutsentov v ozelenenii g. Khanty-Mansiyska (srednyaya podzona taygi Zapadnoy Sibiri): avtoref. dis. ... kand. s.-kh. nauk* [Perspectives of use of tree introductions in gardening of the city of Khanty-Mansiysk (middle subzone of the taiga of Western Siberia): Diss. ... Cand. Sci. (Agric.)]. Ekaterinburg, 2011, 20 p.
- [14] Solov'eva M.V., Zalesov S.V., Zalesova E.S., Krekova Ya.A., Opletaev A.S. *Perspektivnost' sortov eli kolyuchey (Piceapungens Engelm.) dlya ozeleneniya severnykh gorodov* [Perspectivity of spruce barbed varieties (Piceapungens Engelm.) For landscaping northern cities]. *Vestnik Buryatskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii imeni V.R. Filippova* [Bulletin of the Buryat State Agricultural Academy named after V.R. Filippova], 2019, no. 2 (55), pp. 121–129.
- [15] Varaksin G.S. *Perspektivy ispol'zovaniya introdutsentov pri ozelenenii v stepnykh usloviyakh Khakasii* [Prospects for the use of introduced plants for landscaping in the steppe conditions of Khakassia]. *Plodovodstvo, semenovodstvo, introduktsiya drevesnykh rasteniy* [Fruit growing, seed production, introduction of woody plants], 2018, v. 21, pp. 49–51.
- [16] Kupriyanov A.N. *Introduktsiya rasteniy* [Plant introduction]. Kemerovo: Kusbassvuzizdat, 2004, 96 p.
- [17] Gusev A.V., Zalesov S.V., Sarsekova D.N. *Metodika opredeleniya perspektivnosti introduktsii drevesnykh rasteniy* [Methods for determining the prospects of introduction of woody plants] *Materialy VII mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Sotsial'no-ekonomicheskie i ekologicheskie problemy lesnogo kompleksa v ramkakh kontseptsii 2020»*, Ekaterinburg, UGLTU, 01 yanvarya – 31 dekabrya 2009 g. [Proceedings of the VII International Scientific and Technical Conference «Socio-economic and environmental problems of the forest complex in the framework of the concept 2020», Yekaterinburg, UGLTU, January 1 to December 31, 2009]. Ekaterinburg: UGLTU, 2009, part. 2, pp. 271–275.
- [18] Zalesov S.V., Platonov E.P., Gusev A.V. *Perspektivnost' drevesnykh introdutsentov dlya ozeleneniya v usloviyakh sredney podzony taygi Zapadnoy Sibiri* [The prospects of tree introductions for landscaping in the middle subzone of the taiga of Western Siberia] *Agrarnyy vestnik Urala* [Agrarian Bulletin of the Urals], 2011, no. 4 (83), pp. 56–58.
- [19] Kolesnikov B.P., Zubareva R.S., Smolonogov E.P. *Lesorastitel'nye usloviya i tipy lesov Sverdlovskoy oblasti* [Forest conditions and types of forests in the Sverdlovsk region]. Sverdlovsk: UC USSR Academy of Sciences, 1974, 177 p.
- [20] Rysin L.P. *Lesnaya tipologiya v SSSR* [Forest typology in the USSR]. Moscow: Nauka, 1982, 216 p.
- [21] Sukachev V.N. *Izbrannye trudy* [Selected Works]. Leningrad: Nauka, 1972, 420 p.
- [22] Melekhov I.S. *Dinamicheskaya tipologiya lesa* [Dynamic forest typology]. *Lesnoe khozyaystvo*, 1968, no. 3, pp. 15–21.
- [23] Melekhov I.S. *Lesovedenie* [Forest Science]. Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1980, 497 p.
- [24] Migunova E.S. *Lesovodstvo i estestvennye nauki (botanika, geografiya, pochvovedenie)* [Forestry and natural sciences (botany, geography, soil science)]. Moscow: MGUL, 2007, 593 p.
- [25] Pogrebnyak P.S. *Obshchee lesovodstvo* [Fundamental forestry]. Moscow: Kolos, 1968, 44 p.
- [26] Rysin L.P., Savel'eva L.I. *Kadastry tipov lesa i tipov lesnykh biogeotsenozov* [Cadastrs of forest types and types of forest biogeocoenoses]. Moscow: Tovarishestva nauchnykh izdaniy KMK, 2007, 149 p.
- [27] Kolesnikov B.P. *Zonal'no-tipologicheskie geograficheskie sistemy vedeniya lesnogo khozyaystva* [Zonal typological and geographical systems of forest management]. *Lesnaya Urala i khozyaystvo v nikh*. Sverdlovsk: Sredne-Ural'skoe knizhnoe izdatel'stvo, 1978, pp. 3–6.

Authors' information

Solovyova Maria Vladimirovna — undergraduate student, Forestry Department of the Ural State Forestry University, zalesov@usfeu.ru

Krekova Yana Alekseevna — pg. of the Forestry Department of the Ural State Forestry Engineering University, zalesov@usfeu.ru

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

Received 17.04.2018.

Accepted for publication 15.01.2019.

ОСОБЕННОСТИ ЕСТЕСТВЕННОГО ВОЗОБНОВЛЕНИЯ ДУБА НА ТЕРРИТОРИИ ОРЕХОВО-ЗУЕВСКОГО ЛЕСНИЧЕСТВА МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ

С.А. Коротков^{1, 2}, В.П. Захаров³

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

²Институт лесоведения РАН, 143030, Московская обл., Одинцовский р-н, с. Успенское, ул. Советская, д. 21

³Орехово-Зуевский филиал ГКУ МО «Мособллес», 142631, Московская обл., Орехово-Зуевский р-н, п. Исаакиевское озеро, ул. Зуевское лесничество, д. 6а

skorotkov@mgu.ac.ru

По проведенным исследованиям в Орехово-Зуевском лесничестве Московской области установлено наличие существенной доли широколиственных пород (в первую очередь дуба черешчатого) в предварительном и последующем восстановлении леса в лесных культурах сосны. В качестве причин такой динамики рассмотрены хозяйственная деятельность, формирующая мозаику площадей лесных культур, климатические изменения, дающие возможность широколиственным породам расширять территории своего произрастания. Показано, что в перспективе данная тенденция может способствовать формированию устойчивых смешанных насаждений, для чего необходимо ввести в систему лесовосстановления оценку естественного восстановительного потенциала и меры по сохранению подроста широколиственных пород как при осуществлении рубок, так и во время мероприятий по уходу.

Ключевые слова: динамика леса, породный состав, лесовосстановление, изменения климата

Ссылка для цитирования: Коротков С.А., Захаров В.П. Особенности естественного возобновления дуба на территории Орехово-Зуевского лесничества Московской области // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2019. Т. 23. № 5. С. 22–29. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-5-22-29

Известны многочисленные свидетельства о значительной доли дуба и его спутников в составе лесов центральных областей европейской части России еще в начале XVIII в. [1–3]. Отмечено широкое распространение дубовых и ясеневых рощ. Природные условия за два столетия изменились мало, и климат не стал более суровым, скорее, наоборот, имеет тенденции к смягчению.

В качестве основной причины исчезновения и деградации дуба принимается длительная и интенсивная эксплуатация ландшафтов с его распространением.

Существенное негативное влияние на широколиственные породы оказали сплошные промышленные рубки второй половины XX в. На обширных вырубках немногочисленное возобновление дуба и его спутников заглушалось быстро растущей порослью осины, березы и ольхи, объедалось лосем, увеличение численности популяции которого пришлось на 1970–1980-е гг. [4, 5].

Цель работы

Работа посвящена оценке состояния и перспективам возобновления дуба черешчатого в условиях восточной части Московской области.

Дуб черешчатый (*Quercus robur* L.) относится к древесным породам, высокочувствительным к свету. В лесоводственной литературе приводятся многочисленные данные об отсутствии дубового подроста под пологом дубрав. В частности,

С.И. Коржинский указывает: «Что дуб возобновляется путем естественного обсеменения крайне трудно — есть факт общеизвестный». Раскрывая причины этого явления, автор подчеркивает: «Дуб крайне светолюбивая порода, которая совершенно не может развиваться в затенении, и даже ростки его исчезают под пологом древесных пород уже через 2–3 года» [6].

Под пологом леса широколиственные породы почти не дают семян и способны возобновляться в основном порослью. Деревья порослевого происхождения отличаются низкорослостью, недолговечностью и неустойчивостью к болезням. При повторных рубках широколиственные породы исчезают или вырождаются в кустарниковые формы, как клен или липа.

На территории Орехово-Зуевского лесничества Московской области примесь дуба к хвойным и хвойно-лиственным насаждениям отмечается на возвышенных элементах рельефа с дренированными почвами — по террасам рек Клязьма, Нерская и их притокам, на Губино-Влазовской возвышенности и других подобных местообитаниях.

Лесной фонд данной территории представлен преимущественно насаждениями средне- и высокополнотными, часто с развитыми ярусами подлеска и подроста. Еще Г.Ф. Морозов отмечал [7] неудовлетворительное состояние подроста древесных пород в сомкнутых лесах. У подроста в насаждении, по сравнению с экземплярами того же возраста

на свободе, обычно замедлен рост, он немногочислен и у него слабее развиты почки. Кроны у подростка в лесу развиваются в горизонтальном направлении и имеют зонтикообразный вид, как, например, у ели, или характеризуются регулярным усыханием верхушечных почек с заменой главного побега. Ведущим экологическим фактором, ограничивающим развитие подростка древесных пород под пологом леса, является недостаток света.

В последние десятилетия для различных районов Московской области отмечается увеличение наличия в составе естественного возобновления широколиственных пород. Так, в Национальном парке «Лосиный остров», в котором наблюдения за насаждениями ведутся на протяжении более 100 лет, отмечаются признаки смены сложных ельников широколиственными сообществами и значительное увеличение липы мелколистной в составе подростка на ряде постоянных пробных площадей. Начальные стадии смены еловых лесов липовыми отмечаются и на территории Московского учебно-опытного лесничества (Щелковского учебно-опытного лесхоза) [8, 9].

Для северной части зоны хвойно-широколиственных лесов характерен невысокий интерес к восстановлению дуба со стороны органов управления лесами [10]. Здесь дубовые леса занимают менее 1 % территории. Как правило, они страдают от суровых зим, к тому же техническое качество древесины низкое.

Созданию культур дуба на территории зоны хвойно-широколиственных лесов практически не уделяли внимания, потому в большинстве насаждений эта порода имеет естественное происхождение. Тем не менее в последние годы наконец стали уделять внимание созданию культур дуба. На территории Орехово-Зуевского лесничества посадкой 1–2-летних сеянцев в Зуевском и Городищенском участках лесничества созданы культуры дуба черешчатого. Посадочный материал дуба использовался при дополнениях культур.

Н.П. Калиниченко [11] приводит мнение К.Б. Лосицкого о невысокой эффективности подходов к созданию лесных культур и ведению лесного хозяйства в зоне хвойно-широколиственных лесов, перенесенных из южных регионов. Для этой зоны требуется разработка нетрадиционных приемов ведения хозяйства и воспроизводства насаждений с участием дуба.

Структура насаждений с участием в составе дуба черешчатого обусловлена природно-климатическими условиями рассматриваемой зоны.

За последние десятилетия отмечены изменения уровня температур, что потенциально может привести к изменению ареала всех древесных пород, а также их соотношению в насаждениях [12–14]. Согласно официальной информации

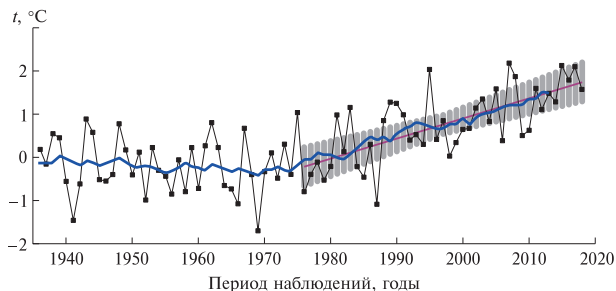


Рис. 1. Средние годовые аномалии температуры (°C) приземного слоя воздуха, осредненные по территории России (1936–2018)

Fig. 1. Mean annual anomalies of aboveground air temperature (°C), averaged across the territory of Russia for the years 1936–2018

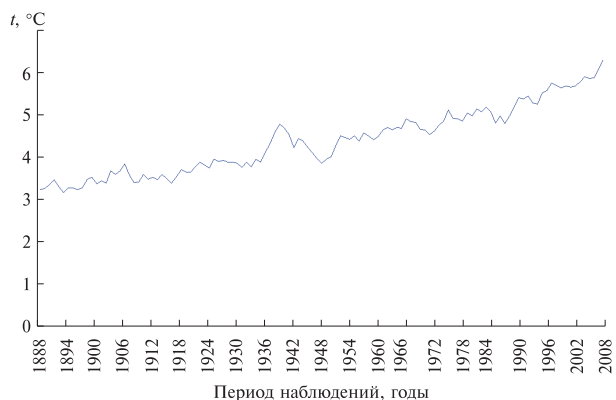


Рис. 2. Среднегодовая температура в Москве. Осредненные значения за 5-летний цикл

Fig. 2. Mean annual temperature in Moscow as averaged by 5-year cycles

Росгидромета [15], на всей территории России продолжается потепление в целом за год и во все сезоны, кроме зимы. Скорость роста осредненной по всей территории России среднегодовой температуры (линейный тренд) составила $0,45\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$ (вклад в общую изменчивость — 46 %) (рис. 1). Аномалии рассчитаны как отклонения от среднего за период 1961–1990 гг.; 11-летнее скользящее среднее, линейный тренд (1976–2018) с 95%-й доверительной полосой

Наиболее быстрый рост наблюдается весной ($0,62\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$), но на фоне межгодовых колебаний тренд больше всего выделяется летом ($0,43\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$: описывает 64 % суммарной дисперсии).

Тренд среднегодовой температуры по данным инструментальных метеонаблюдений, в Москве согласно данным сервиса «Погода и климат» [16] приведен на рис. 2. При этом потепление идет неравномерно в течение года, например зимой значительно потеплели декабрь и январь, температура февраля выросла несущественно; весной повысилась температура марта и апреля, а температура мая незначительно снизилась.

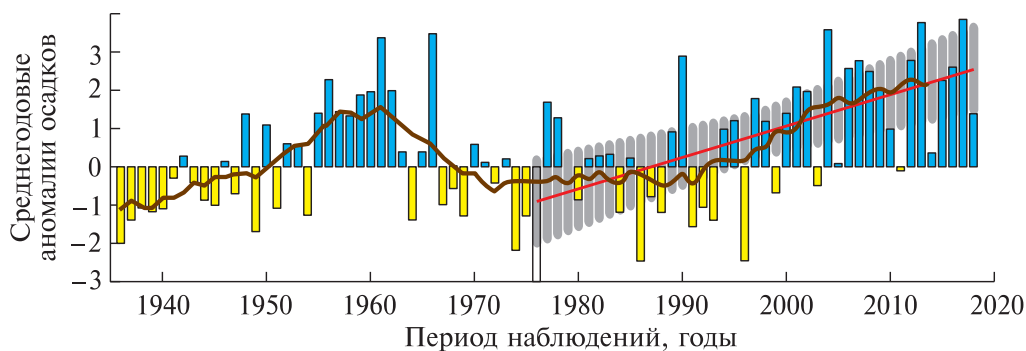


Рис. 3. Среднегодовые аномалии осадков, осредненные по территории России (1936–2018): $b = 0,8$ — коэффициент тренда (мм/мес / 10 лет); $D = 34$ — вклад тренда в суммарную дисперсию, %
Fig. 3. Mean annual precipitation anomalies averaged over the territory of Russia (1936–2018): $b = 0,8$ — trend coefficient (mm / month / 10 years); $D = 34$ — trend contribution to the total variance, %

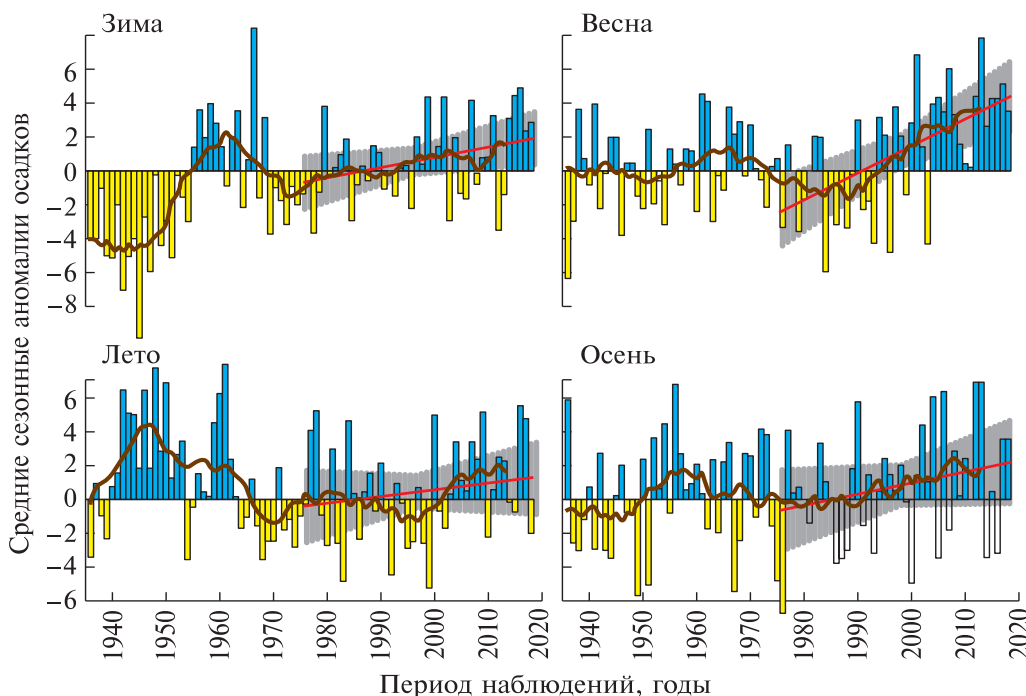


Рис. 4. Средние сезонные аномалии осадков, осредненные по территории России, (1936–2018)
Fig. 4. Mean annual anomalies of precipitation (mm/month), averaged across the territory of Russia for the years 1936–2018

Однако в последние годы майская погода в Москве весьма потеплела: за последние 6 лет средняя температура мая составила +15,4 град, за последние 5 лет — +15,9 град при новейшей норме +13,2 град. Есть опасения, что в будущем короткая и аномально теплая весна, жаркое лето, как в 2010 г., и длительное лето 2018 г. станут нормальными явлениями для Москвы.

Для развития лесных экосистем наряду с температурой имеет значение обеспечение влагой [17, 18]. Согласно уже цитируемым данным Росгидромета, на протяжении последних 5...10 лет отмечается превышение количества ежегодно выпадающих осадков над среднегодовыми показателями (рис. 3) для европейской части России в первую очередь за счет зимнего и весеннего периодов.

При этом в осенние и летние месяцы дефицит влаги составляет 80–95 % средних значений.

На рис. 4 представлены средние сезонные аномалии, рассчитанные как отклонения от среднего за 1961–1990 гг. Сглаженная кривая получена 11-летним скользящим осреднением, линейный тренд оценен за 1976–2018 гг.:

- зима — $b = 0,6$ мм/месяц / 10 лет; $D = 12$ %;
- весна — $b = 1,6$ мм/месяц / 10 лет; $D = 36$ %;
- лето — $b = 0,4$ мм/месяц / 10 лет; $D = 3$ %;
- осень — $b = 0,6$ мм/месяц / 10 лет; $D = 5$ %;

Подобные данные легли в основу предположения о формировании благоприятных условий для увеличения доли широколиственных пород в составе лесных насаждений Московской области [19–21].

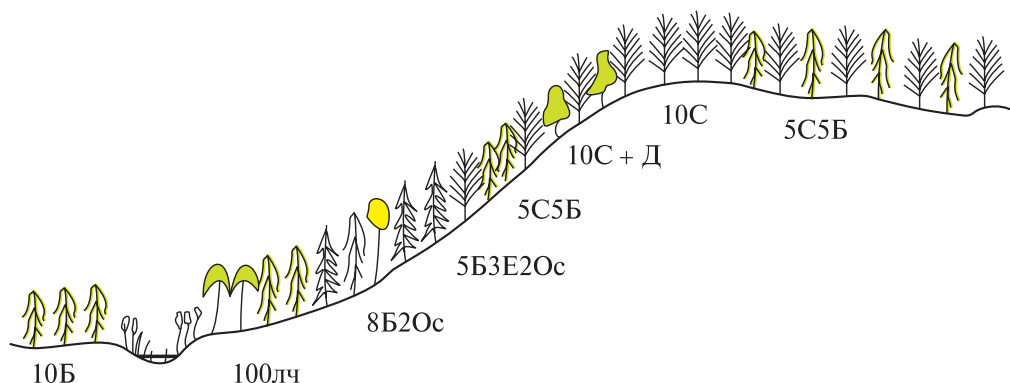


Рис. 5. Профиль север — юг по границе кварталов 2 и 3 Губинского участкового лесничества: Б — береза; Д — дуб; Е — ель; Олч — Ольха черная; Ос — осина; С — сосна

Fig. 5. North-south profile along the border of blocks 2 and 3 of the Gubinsky district forestry: Б — birch; Д — oak; Е — spruce; Олч — Black Alder; Ос — aspen; С — pine

Материалы и методы

Особенности естественного возобновления дуба рассмотрены на территории Губинского участкового лесничества, находящегося в центре Орехово-Зуевского лесничества. Урочище «Кудыкина гора», на территории которого проводились исследования (кварталы 1–17), расположено вдоль вытянутого с запада на восток пологого холма протяженностью около 7 км и шириной не более 1 км. Максимальная отметка высот составляет 145,3 м, что приблизительно на 20 м выше прилегающих заболоченных низин.

Благодаря наличию водоупорных почвенных горизонтов по склонам холма в изобилии встречаются естественные родники, многие из которых обустроены и активно используются местным населением. Северный склон достаточно круто обрывается в сторону выработанных торфяников, южный склон — более пологий, в его нижней части произрастают сосново-березовые переувлажненные леса с участием ели и осины (рис. 5).

Результаты и обсуждение

В целях оценки состояния популяции дуба был проведен пересчет деревьев данной породы на ленте шириной 50 м и длиной 1,2 км.

Полученные данные (рис. 6) показывают преобладание молодых экземпляров дуба, что, возможно, объясняется экологическими особенностями развития данной породы, в частности приуроченностью к освещенным местообитаниям, нерегулярным плодоношением, особенностями ведения хозяйства и изменениями погодно-климатических условий.

Несмотря на неполноценный возрастной спектр, поддержание количества молодых экземпляров происходит за счет немногочисленных генеративных особей без заноса семян извне, поскольку исследуемый участок окружен обшир-

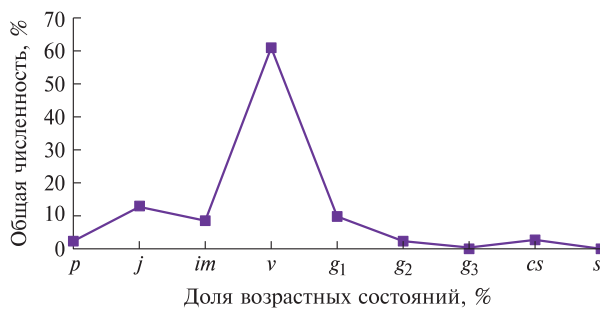


Рис. 6. Возрастной спектр популяции дуба черешчатого на учетной ленте в кварталах 1–3 Губинского участкового лесничества: p — проростки; j — ювенильные; Im — имматурные, V — виргинильные, g₁ — молодые генеративные; g₂ — средневозрастные генеративные; g₃ — старые генеративные; cs — квазисенильные; s — сенильные

Fig. 6. The age spectrum of the population of European oak on the tape in the blocks 1–3 of the Gubinsky district forestry: p — seedlings; j — juvenile; Im — immature, V — virgin, g₁ — young generative; g₂ — middle-aged generative; g₃ — old generative; cs — quasisenile; s — senile

ными площадями выработанных торфяников и лесных массивов без участия дуба.

Эффективность этого процесса ограничивается неурожайными годами и несовпадением по времени урожая желудей с образованием открытых площадей вырубкой вблизи источников семян. Так, неудовлетворительный урожай отмечался в 2016 г. и практически полностью вследствие майских заморозков отсутствовали желуди дуба в 2017 г.

Условия для успешного распространения дуба создает мозаика сплошных вырубок и площадей лесных культур, формирующих открытые пространства. Благодаря агротехническим уходам за создаваемыми лесными культурами сосны освещенность, требуемая для успешного развития дуба, сохраняется в течение ряда лет, вплоть до смыкания главной породы.

**Результаты учета возобновления
на участках лесных культур
в Губинском участковом лесничестве**

**Results of nature regeneration recording
in forest cultures in Gubino forestry**

Пробные площади	Год создания лесных культур	Параметры комбинированного возобновления	
		Количество стволов по породам, шт./га	Средняя высота, м
ПП-1-3	2005	С — 3056	8,0
		Д — 133	4,5
		Е — 222	0,5
		Б — 78	6,0
ПП-2-3	2002	С — 3700	5,32
		Д — 300	6,00
ПП-2а-3	2002	С — 564	4,27
		Д — 150	3,86
		Е — 102	2,97
		Б — 180	8,00
		Ос — 12	10,00
ПП-3-3	2005	С — 500	1,2
		Д — 33	5,5
		Е — 1033	0,5
		Б — 1833	4,5
		Кл — 167	5,0
ПП-4-3	2004	С — 2280	4,05
		Д — 90	3,33
		Е — 270	5,33
		Б — 960	6,63
ПП-5-3	2002	С — 250	3,6
		Д — 250	7,0
		Е — 100	2,25
		Б — 1750	7,51
		Ос — 100	6,0

Примечание. Б — береза; Д — дуб; Е — ель; Кл — клен; Ос — осина; С — сосна.

Учитывая недостаточное количество жизнеспособного подроста под пологом насаждений, при проектировании лесных культур наличие и перспективы возобновления дуба никак не учитывались и специальных мер по сохранению самосева данной породы (как и сохранения подроста вообще) при сплошных санитарных рубках не проводилось, что, на наш взгляд, вполне оправданно.

После проведения рубок с очисткой путем сжигания порубочных остатков создаются лесные культуры сосны обыкновенной. Технология традиционна для Орехово-Зуевского лесничества и большинства регионов Московской области: напашка борозд двухотвальным плугом ПКЛ-70 и ручная посадка двухлетних сеянцев под меч Колесова в дно борозды.

Впоследствии, при проведении лесоводственных уходов, за счет устранения угнетающего воздействия широколиственных пород поддерживаются условия и для естественного возобновления дуба.

Эти выводы подтверждаются результатами описаний пробных площадей в Губинском участ-

ковом лесничестве, сделанных в рамках наших полевых работ (таблица).

Учет проводился на пробных площадях прямоугольной формы площадью 0,09...0,2 га. Учет подроста осуществлялся по породам в пределах пробных площадей по классам крупности с последующим пересчетом на крупный с использованием следующих коэффициентов: для мелкого подроста — 0,5 и для среднего — 0,8. Впоследствии результаты пересчетов приведены к количеству на 1 га.

Приведенные в таблице данные показывают варианты развития культур сосны различной сохранности. Так, на участках ПП-1-3, ПП-2-3 и ПП-2а-3 при проведении рубки прочистки наряду с удалением широколиственных пород были сохранены все деревья дуба.

При этом на двух из трех пробных площадях примесь широколиственных пород согласно проведенному пересчету составила около 5 % по количеству стволов, что при последующих рубках прореживания может сформировать сосновое насаждение с заметной примесью широколиственных пород.

Выводы

Исследования на территории Орехово-Зуевского лесничества показали следующее:

1. В условиях лесничества существует значительное количество насаждений, эдафические условия местообитаний которых не препятствуют возобновлению в них дуба черешчатого.

2. На породный состав, строение и пространственное размещение древостоев влияет предшествующая и текущая лесохозяйственная деятельность, которая оказывает прямое и косвенное влияние на появление и развитие подроста широколиственных пород.

3. При наличии семенных и вегетативных зачатков обилие подроста дуба зависит от освещенности.

4. Преобладание молодых особей в структуре популяции дуба черешчатого может свидетельствовать об изменениях климатических условий за последние несколько десятилетий в сторону их благоприятствования для произрастания дуба.

Скорость роста возобновления всех широколиственных пород зависит от освещенности в сообществе. В тех насаждениях, где недостаток света не является критическим, на нее оказывают влияние эдафические характеристики местообитания.

В целях формирования устойчивых и эстетически привлекательных насаждений с примесью широколиственных пород можно рекомендовать следующие мероприятия:

— выявление, в том числе в рамках лесоустроительных работ, участков, перспективных для

формирования хвойно-широколиственных насаждений; в качестве основного критерия пригодности территории может выступать наличие жизнеспособных экземпляров дуба черешчатого и положение участка в рельефе;

– в целях увеличения доли широколиственных пород при создании лесных культур проектирование смешанных лесных культур с введением дуба рядами или площадками путем посадки 1–2-летних сеянцев или посева желудей;

– при проведении агротехнических уходов и рубок ухода в молодняках в обязательном порядке сохранение всех экземпляров самосева дуба и создание им благоприятных условий для развития.

Список литературы

- [1] Дубравы СССР. М.-Л.: Гослесбумиздат, 1949. Т. 1. 352 с.
- [2] Павлов Д.М. Вернуть дуб в тверские леса // Лесной бюллетень, 1999. № 12. С. 16–17.
- [3] Смирнова О.В. Популяционная организация биогеоценологического покрова лесных ландшафтов // Успехи современной биологии, 1998. Т. 48. № 2. С. 148–165.
- [4] Бугаев В.А., Муслиевский А.Л., Царалунга В.В. Дубравы европейской части России // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал, 2004. № 2. С. 7–13.
- [5] Тихонов А.С. Преобразование сосняков в дубравы // Актуальные проблемы лесного комплекса, 2006. № 13. С. 105–108.
- [6] Харченко Н.А., Харченко Н.Н. К вопросу о естественном возобновлении дуба черешчатого под пологом материнского древостоя // Политематический сетевой электронный научный журнал КубГАУ, 2012. Вып. 76. № 02. С. 299–311.
- [7] Морозов Г.Ф. Учение о лесе. М.: Гослесбумиздат, 1949. 455 с.
- [8] Коротков С.А., Стоноженко Л.В., Ерасова Е.В., Иванов С.К. Устойчивость и динамика еловых и липовых насаждений северо-восточного Подмосковья // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2014. № 4. С. 13–21.
- [9] Коротков С.А., Киселева В.В., Стоноженко Л.В., Иванов С.К., Найденова Е.В. О направлениях лесообразовательного процесса в северо-восточном Подмосковье // Лесотехнический журнал, 2015. Т. 5. № 4 (19). С. 41–54
- [10] Григорьев А.Ю., Захаров В.П., Берлова О.А. Дубы России // Лесной бюллетень, 2000. № 16. С. 10–12.
- [11] Калиниченко Н.П. Дубравы России. М.: ВНИИЦлесресурс, 2000. 136 с.
- [12] Замолодчиков Д.Г., Краев Г.Н. Влияние изменений климата на леса России: зафиксированные воздействия и прогнозные оценки // Устойчивое лесопользование, 2016. № 4. С. 23–31.
- [13] Kokorin A.O., Nazarov I. The analysis of growth parameters of Russian boreal forests warming, and its use in carbon budget model // Ecological modeling, 1995, v. 82, pp. 139–150.
- [14] Yue T.dX, Fan Z.dM., Chen C.dF. Surface modelling of global terrestrial ecosystems under three climate change scenarios // Ecological Modelling, 2011, v. 222, no. 14, pp. 2342–2361.
- [15] Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2018 год. М.: Росгидромет, 2019. 79 с.
- [16] Тренд среднегодовой температуры (Архив), МГУ + ТСХА + ВВЦ. URL: <http://www.pogoda.ru.net/data/27612.zip> (дата обращения 12.02.2018).
- [17] Усольцев В.А., Терехов Г.Г., Ненашев Н.С. Биологическая продуктивность лесных культур на бореальном экотоне // Хвойные бореальной зоны: теоретический и научно-практический журнал, 2007. Т. XXIV. № 1. С. 42–54.
- [18] Замолодчиков Д.Г. Оценка климатогенных изменений разнообразия древесных пород по данным учетов лесного фонда // Успехи современной биологии, 2011. Т. 131. № 4. С. 382–392.
- [19] Обьеденников В.И., Кожухов Н.И. Типы вырубков и возобновление леса. М.: Лесная промышленность, 1977. 176 с.
- [20] Побединский А.В. Основные принципы организации и ведения лесного хозяйства на зонально-типологической основе // Лесоведение, 1981. № 3. С. 3–8.
- [21] Рекомендации по выделению коренных и производных групп типов леса лесной зоны Европейской части РСФСР. Составители: А.В. Побединский, Ю.А. Лазарев, Р.И. Ханбеков, А.Я Орлов, Ю.Д. Абатуров. М.: ВНИИЛМ, 1982. 40 с.

Сведения об авторах

Коротков Сергей Александрович — канд. биол. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), skorotkov@mgul.ac.ru

Захаров Владимир Петрович — старший участковый лесничий Орехово-Зуевского филиала ГКУ МО «Мособллес», zakharov@forest.ru

Поступила в редакцию 29.05.2019.

Принята к публикации 18.06.2019.

NATURAL REGENERATION PECULARITIES OF OAK IN OREKHOVO-ZUEVO FORESTRY, MOSCOW REGION

S.A. Korotkov^{1, 2}, V.P. Zakharov³

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

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

³Orekhovo-Zuyevo branch of the state governmental institution of the Moscow reg. «Mosoblles», Zuyevskoye lesnichestvo, 6A, Isaakievskoe lake, Orekhovo-Zuyevo district, 142631, Moscow reg., Russia

skorotkov@mgul.ac.ru

Studies in the Orekhovo-Zuevo forestry of the Moscow region showed the presence of the hardwood broadleaf species in the preliminary and the following forest restoration at the forest cultures, which in the future can contribute to the formation of a stable mixed plantation. The reasons for such dynamics are considered economic activities that form a mosaic of forest areas, as well as climate change, enabling broad-leaved species to expand their growing areas. For that purpose it is necessary to introduce into the forest restoration system assessment of the natural restoration potential and measures to preserve the undergrowth during the forest harvesting or other forestry works.

Keywords: forest dynamics, species composition, reforestation, climate change

Suggested citation: Korotkov S.A., Zakharov V.P. *Osobennosti estestvennogo vozobnovleniya duba na territorii Orekhovo-zuevskogo lesnichestva Moskovskoy oblasti* [Natural regeneration peculiarities of oak in Orekhovo-Zuevo forestry, Moscow Region]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2019. T. 23. № 5. С. 22–29. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-5-22-29

References

- [1] *Dubravyy SSSR* [Oak forests of the USSR]. Moscow-Leningrad: Goslesbumizdat. 1949, v. 1, 352 p.
- [2] Pavlov D.M. *Vernut' dub v tverskie lesa* [Returning oak to Tver' forests]. *Lesnoy bulletin* [Forest bulletin], 1999, no.12, pp.16–17
- [3] Smirnova O.V. *Populyatsionnaya organizatsiya biogeotsenoticheskogo pokrova lesnykh landshaftov* [Populational organization of biogeocoenotic cover of forest landscapes]. *Uspekhi sovremennoy biologii* [Biology Bulletin Reviews], 1998, v. 48, no.2, pp. 148–165.
- [4] Bugayev V.A., Musiyevskiy A.L., Tsaralunga V.V. *Dubravyy yevropeyskoy chasti Rossii* [Oak forests of the European part of Russia] *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal*. [Bulletin of Higher Educational Institutions. *Lesnoy zhurnal*], 2004, no. 2, pp. 7–13.
- [5] Tikhonov A.S. *Preobrazovaniye sosnyakov v dubravyy* [Conversion of pine forests into oak forests] *Aktual'nyye problemy lesnogo kompleksa* [Actual problems of the forest complex], 2006, no. 13, pp. 105–108.
- [6] Kharchenko N.A., Kharchenko N.N. *K voprosu o estestvennom vozobnovlenii duba chereschatogo pod pologom materinskogo drevostoya* [To the problem of natural regeneration of oak under parent canopy]. *Politematicheskyy setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal KubGAU* [Polithematic net electronic journal of Kuban' Agricultural University], 2012, iss. 76, no. 2, pp. 299–311.
- [7] Morozov G.F. *Uchenie o lese* [Forest doctrine]. Moscow: Goslesbumizdat. 1949, 455 p.
- [8] Korotkov S.A., Stonozhenko L.V., Yerasova Ye.V., Ivanov S.K. *Ustoychivost' i dinamika yelovykh i lipovykh nasazhdeniy severo-vostochnogo Podmoskov'ya* [Stability and dynamics of spruce and linden forests of the northeastern Moscow region] *Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik*, 2014, no. 4, pp. 13–21.
- [9] Korotkov S.A., Kiseleva V.V., Stonozhenko L.V., Ivanov S.K., Naydenova Ye.V. *O napravleniyakh lesobrazovatel'nogo protsessa v severo-vostochnom Podmoskov'ye* [On the Directions of the Forest Formation Process in the Northeast Moscow Region] *Lesotekhnicheskyy zhurnal* [Forestry engineering journal], 2015, v. 5, no. 4 (19), pp. 41–54.
- [10] Grigor'ev A.Yu., Zakharov V.P., Berlova O.A. *Duby Rossii* [Oaks of Russia]. *Lesnoy bulletin* [Forest bulletin], 2000, no. 16, pp. 10–12.
- [11] Kalinichenko N.P. *Dubravyy Rossii* [Oak forests of Russia]. Moscow: VNIITslesresurs, 2000, 136 p.
- [12] Zamolodchikov D.G., Krayev G.N. *Vliyaniye izmeneniy klimata na lesa Rossii: zafiksirovannyye vozdeystviya i prognoznyye otsenki* [The Impact of Climate Change on Russia's Forests: Recorded Impacts and Forecast Estimates] *Ustoychivoye lesopol'zovaniye* [Sustainable Forestry], 2016, no. 4, pp. 23–31.
- [13] Kokorin A.O., Nazarov I. The analysis of growth parameters of Russian boreal forests warming, and its use in carbon budget model. *Ecological modeling*, 1995, v. 82, pp. 139–150.
- [14] Yue T.dX., Fan Z.dM., Chen C.dF. Surface modelling of global terrestrial ecosystems under three climate change scenarios. *Ecological Modelling*, 2011, v. 222, no. 14, pp. 2342–2361.
- [15] *Doklad ob osobennostyakh klimata na territorii Rossiiskoi Federatsii za 2018 god* [Report on climate peculiarities at the territory of Russian Federation in 2018]. Moscow: Rosgidromet, 2019, 79 p.
- [16] *Trend srednegodovoy temperatury (Arkhiv), MGU + TSKHA + VVTS* [The trend in mean annual temperature (Archive), Moscow meteo-stations] Available at: <http://www.pogoda.ru.net/data/27612.zip> (accessed 12.02.2018).
- [17] Usol'tsev V.A., Terekhov G.G., Nenashev N. S. *Biologicheskaya produktivnost' lesnykh kultur na boreal'nom ekotone* [Biological productivity of forest cultures on the boreal ecotone] *Khvoynyye boreal'noy zony: teoreticheskyy i nauchno-prakticheskyy zhurnal* [Coniferous boreal zone: theoretical and scientific journal], 2007, v. XXIV, no. 1, pp. 42–54.
- [18] Zamolodchikov D.G. *Otsenka klimatogennykh izmeneniy raznoobraziya drevnykh porod po dannym ucheta lesnogo fonda* [Estimation of climatogenic changes in the diversity of tree species according to forest fund counts] *Uspekhi sovremennoy biologii* [Biology Bulletin Reviews], 2011, v. 131, no. 4, pp. 382–392.

- [19] Obydyonnikov V.I., Kozhukhov N.I. *Типы вырубok и возобновление леса* [Types of crosscut areas and reforestation]. Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1977, 76 p.
- [20] Pobedinskiy A.V. *Osnovnye printsipy organizatsii i vedeniya lesnogo khozyaystva na zonal'no-tipologicheskoy osnove* [Basic principles of organization and management of forestry on a zonal-typological basis]. Lesovedenie [Russian Forest Sciences], 1981, no. 3, pp. 3–8.
- [21] Pobedinskiy A.V., Lazarev Yu.A., Khanbekov R.I., Orlov A.Ya., Abaturov Yu.D. *Rekomendatsii po vydeleniyu korennykh i proizvodnykh grupp tipov lesa lesnoy zony Evropeyskoy chasti RSFSR* [Recommendations on the identification of indigenous and derivative groups and types of forest zone in the European part of the RSFSR]. Moscow: VNIILM, 1982, 40 p.

Authors' information

Korotkov Sergey Aleksandrovich — Cand. Sci. (Biology), Associated Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), skorotkov@mgul.ac.ru

Zakharov Vladimir Petrovitch — Senior Sub-district forester, Orekhovo-Zuevo forestry of Moscow Region, zakharov@forest.ru

Received 29.05.2019.

Accepted for publication 18.06.2019.

ЕСТЕСТВЕННОЕ ВОЗОБНОВЛЕНИЕ В КОРЕННЫХ РАЗНОВОЗРАСТНЫХ СОСНЯКАХ ЕВРОПЕЙСКОЙ ТАЙГИ РОССИИ

В.Г. Стороженко

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

lesoved@mail.ru

Изучены количественные и возрастные показатели естественного возобновления сосны в коренных разновозрастных девственных сосняках таежной зоны Европейской России. Определены особенности формирования естественного возобновления сосны без участия и с участием пирогенного фактора формирования структур сосновых древостоев. Представлена структура коренных девственных разновозрастных сосняков, установленная по пирогенным воздействиям разной периодичности и интенсивности. Показано, что к формированию неравномерных возрастных рядов древостоев приводит уничтожение подроста разного возраста лесными низовыми пожарами. Установлено, что в регионах произрастания сосны на территории Европейской России — от подзоны средней тайги к северной — количество естественного возобновления сосны в девственных разновозрастных сосняках сокращается более чем на 18 %, возраст подроста в пределах градаций по высоте неуклонно увеличивается, и эта закономерность имеет линейную зависимость. Приведена пораженность коренных разновозрастных сосняков биотрофными дереворазрушающими грибами, составляющая в среднем 10...15 %, которая многократно увеличивается от последних поколений древостоев (подрост) к первым (пределный возраст деревьев), особенно при наличии подгаров от прошедших в разное время низовых пожаров.

Ключевые слова: разновозрастные сосновые леса, естественное возобновление сосны, высота и возраст подроста, пирогенный фактор, дереворазрушающие грибы

Ссылка для цитирования: Стороженко В.Г. Естественное возобновление в коренных разновозрастных сосняках Европейской тайги России // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2019. Т. 23. № 5. С. 30–37. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-5-30-37

Коренные лесные экосистемы северных территорий Европейской России представлены в основном еловыми и сосновыми формациями. Леса этих формаций могут произрастать в различных лесорастительных условиях. Типологический ряд произрастания сосняков весьма обширен — от сфагновых, сфагново-багульниковых типов верховых болот до бедных песчаных, супесчаных, легкосуглинистых почв боровых брусничников, бруснично-черничных местоположений. Леса еловых формаций предпочитают почвы более богатого суглинистого ряда, моренные отложения, часто с избыточным увлажнением, мшистых, черничных, чернично-брусничных типов леса. Разнообразие условий произрастания создают не одинаковые предпосылки для естественного возобновления сосны при формировании разновозрастной структуры древостоев в их естественном эволюционном развитии, что подробно изучено [1–8]. Из указанных литературных источников можно почерпнуть ценные сведения о структуре естественного возобновления сосновых лесов с участием ели при определенных условиях роста, в тех или иных лесорастительных зонах или географических регионах. Дополнительные сведения можно получить в результате проведения сравнительной оценки количества и структуры этого консорта по подзонам таежной зоны с позиций достаточ-

ности его формирования для полноты возрастных рядов и сохранения качества устойчивости лесного сообщества в сосновых таежных лесах. Для ее проведения относительно разновозрастных устойчивых эволюционно сформированных таежных сосняков дополнительно проводятся некоторые показатели естественного возобновления сосны на границе южной тайги и северной части зоны смешанных лесов, где были исследованы сосняки естественного происхождения условно одновозрастных структур, обозначенных как сосняки южной тайги.

Цель работы

Работа посвящена изучению количественных и возрастных показателей естественного возобновления сосны в мезофитных условиях произрастания сосновых лесов, формирования структуры возрастных рядов девственных сосняков, которые рассматриваются нами как наиболее устойчивые структурные формации по сравнению с менее устойчивыми лесами других динамических характеристик и происхождения. Проблема изучения возобновительной способности сосны в разных подзонах тайги, кроме того, представляется актуальной, исходя из эволюционной достаточности этого процесса для формирования устойчивых лесных сообществ искусственного происхождения.

Для лесов сосновых формаций такие исследования особенно важны, поскольку они в большой степени подвержены пирогенным воздействиям, изменяющим их структурные параметры в том числе параметры возобновления. Обнаружить сосновые древостои, не затронутые пожарами, крайне сложно, особенно в сухих условиях произрастания — сосняках брусничных, лишайниковых, беломошных, вересковых.

Представленный материал следует рассматривать как часть общих исследований по определению физических характеристик устойчивых лесных сообществ и в контексте продолжения аналогичных исследований естественного возобновления в лесах хвойных формаций Европейской России [9–11].

Материалы и методы

Коренные девственные разновозрастные еловые формации в пределах всех подзон таежной зоны можно обнаружить на просторах лесного фонда, в заповедниках, национальных парках, в местоположениях, труднодоступных для лесозаготовителей. Гораздо сложнее обнаружить девственные разновозрастные сосновые леса, особенно если они произрастают в оптимальных для их роста условиях и транспортной доступности. Поскольку экспериментальная база наших исследований включает в себя изучение количественных показателей подроста сосны и сопутствующих пород, соотношений величин возраста подроста и его высоты, она ограничена девственными разновозрастными сосняками подзон средней и северной тайги. Девственные разновозрастные сосновые леса Европейской России, расположенные южнее, не обнаружены.

В соответствии с поставленными задачами экспериментальные работы проводились в сосновых древостоях в широтном градиенте северной и средней тайги Европейской России — от Карелии до предгорий Урала в наиболее производительных и распространенных типах леса каждого региона на почвах преимущественно песчаного, супесчаного или легкосуглинистого механического состава, в чистых по составу сосновых древостоях с естественным возобновлением сосны.

В подзоне северной тайги изучены девственные сосновые древостои в коренных сопочных сосняках Кандалакшского лесхоза Мурманской области, Национального парка «Паанаярви» в Карелии, в плакорных притундровых сосняках и разновозрастных древостоях в Усть-Цилемском лесхозе Республики Коми. В подзоне средней тайги — в коренных абсолютно и относительно разновозрастных сосняках Национального парка «Водлозерский» (южная часть), резервате «Ащозерский» Ленинградской области, в сосняках высоких террас р. Печора в Печоро-Илычском

заповеднике Республики Коми и в припойменных сосняках бассейна р. Андома Вытегорского р-на Вологодской области. Соотношение возраста и высоты соснового подроста определялись по данным учетов в сосняках Кандалакшского лесхоза Мурманской области (северная тайга), заповедника «Кивач» в Карелии (средняя тайга)

Согласно общим исследованиям по изучению закономерностей формирования устойчивых лесов, в выделенных массивах сосняков (как и в ельниках) были заложены закладывались постоянные и временные размерные пробные площади 0,3...0,8 га, на которых проводился принятый в наших исследованиях структур лесов на Русской равнине комплекс работ по определению общих лесоводственных характеристик биогеоценозов для изучения возрастных, горизонтальных, валевных структур древостоев, состава и структуры дереворазрушающих грибов биотрофного и ксилотрофного комплексов и их участия в динамических процессах при естественном формировании биогеоценозов. Работы также включали в себя сплошные перечеты нумерованных деревьев по диаметрам и состоянию, картирование расположения деревьев, бурение у шейки корня для определения возраста деревьев и в дальнейшем возрастной структуры древостоев и участия дереворазрушающих грибов в процессах деструкции и формирования структур древостоев. Кроме того проводился пересчет древесного опада, его картирование с разделением по стадиям разложения [10, 12, 13]. К отдельному виду работ относился анализ естественного возобновления коренных и сопутствующих пород по грациям высот через 0,5 м с определением возраста подроста, относящегося к каждой категории высоты. Вся пробная площадь была разбита на квадраты 10×10 м. На каждом квадрате проводился подсчет благонадежного подроста сосны и других пород, в том числе подрост ели. К категории благонадежного был отнесен подрост, имеющий прирост текущего года, его обилие установили по сумме количества подроста всех квадратов, слагающих пробную площадь с переводом на 1 га.

Категория подроста рассматривается как часть последнего 40-летнего возрастного поколения в возрастной структуре древостоя. В древостоях разных подзон тайги единицы подроста одного возраста могут значительно отличаться один от другого как по высоте, так и по диаметру ствола.

Результаты и обсуждение

В одной [11] из наших предыдущих работ о естественном возобновлении в девственных еловых сообществах приведена ссылка на ОСТ 56-108-98 Лесоводство. Термины и определения» [14], в котором даны определения подроста:

«к подросту относится поколение древесных растений старше 2...5 лет, а в условиях севера — старше 10 лет, до образования молодняка или яруса древостоя». По тому же ОСТу: «к молоднякам относятся древостои до конца первого или второго класса возраста» (стр 18, пп. 3.2.32). Для сосны и ели класс возраста равен 20 годам. Таким образом, по существующему ОСТу к подросту в условиях южной тайги можно отнести деревья возрастом до 20 лет, а в условиях северной тайги — до 40 лет.

В работе [11] констатируется, что в таких возрастах подрост ели в зоне тайги, как правило, не достигает высоты первого яруса, имея возраст больше, чем указанный в ОСТе [14]. То же можно сказать и о подросте сосны. В условиях северной тайги подрост, имеющий возраст до 60 лет и более, включает в себя почти два 40-летних возрастных поколения, а иногда и выше, что, безусловно, связано с условиями его роста в пологе древостоев. Следует также иметь в виду, что в сосновых биогеоценозах естественного происхождения подрост сосны может успешно развиваться и формировать последующие поколения только под пологом древостоя, имеющего полноту 0,5–0,6 и ниже, в редких случаях 0,7. В отличие от ели сосна — светлюбивая порода и при полнотах древостоев выше 0,6–0,7 естественное возобновление, как правило, не выживает. Именно поэтому коренные разновозрастные сосняки имеют довольно низкие показатели полноты. В северных разновозрастных девственных таежных сосняках при низких бонитетах и полнотах древостоев, низких высотах деревьев создаются вполне благоприятные условия для появления естественного возобновления сосны. Как и в ельниках, в сосновых древостоях наряду с подростом сосны в состав естественного возобновления входят и деревья сопутствующих пород, иногда в значительном количестве, подрост которых также имеет важное значение в формировании структур лесного сообщества. Поэтому в общие учеты подрост мы включали и естественное возобновление сопутствующих пород, способных входить в первый ярус древостоя. Для тайги это преимущественно береза и осина.

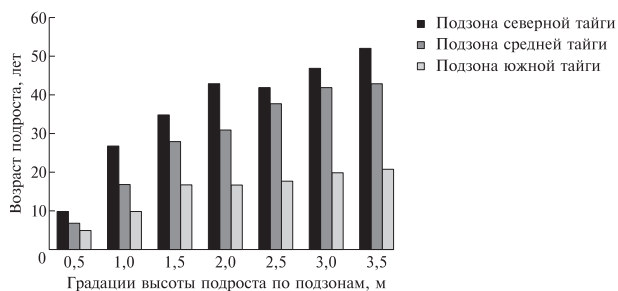
Из представленных в табл. 1 данных видно, что коренные разновозрастные сосняки могут иметь самые различные возрастные структуры и динамические показатели древостоев, и большинство из них неравномерны, хаотичны в значениях числа стволов в различных возрастных поколениях, что непосредственно связано с влиянием пирогенного фактора в разные периоды их жизни.

Согласно представленным в табл. 2 данным, значительные различия отмечаются в количестве единиц возобновления на 1 га площади сосно-

вых биогеоценозов, что связано с влиянием вида, частоты и интенсивности лесных пожаров на состав и количество естественного возобновления. Кроме того, с продвижением от подзоны средней тайги далее на север общее количество подрост сосны в разновозрастных девственных лесах сосновых формаций сокращается на 18,2 %. По мере увеличения возраста и высоты подрост снижается его количество на площади сосняков до значений, обеспечивающих формирование последующих поколений деревьев в разновозрастной структуре древостоев.

Почти всегда в коренных таежных сосняках на почвах, более обогащенных органикой, чем аллювиальные пески, — супесях или легких суглинках либо с включениями моренных отложений — в составе естественного возобновления присутствует подрост ели и часто ель встречается в формуле соснового древостоя (см. табл. 1). Участие ели в структурах коренных разновозрастных сосняков лесов таежной зоны широко описано в научной литературе [1, 2, 6, 15, 16–22], поэтому в настоящей работе этот вопрос не рассматривается.

Важное значение для понимания структуры и биологии роста естественного возобновления сосны имеют данные о соотношении линейных и возрастных показателей экземпляров подрост в сосняках, принятых для изучения подзонах тайги. В дополнение к этим сведениям получены данные о структуре соснового подрост в сосняках естественного происхождения условно-однообразных структур, которые мы предположительно отнесли к древостоям южной тайги. Древостои расположены в северной части зоны смешанных лесов, на границе с подзоной южной тайги, севернее Центрально-Лесного государственного природного биосферного заповедника более чем на 60 км (Пеновский районный лесхоз, Тверская обл.) (рисунок).



Средние значения возраста и высоты подрост сосны по подзонам тайги

Average age and height of pine undergrowth across taiga subzones

Из рисунка отчетливо видно, что от южных к северным широтам на просторах Европейской России в сосновых биогеоценозах возраст подрост при одинаковых высотах неуклонно увеличивается.

Т а б л и ц а 1

Возрастные структуры коренных сосновых древостоев подзон северной и средней тайги

Native pine stands age structure of the northern and middle taiga subzones

Лесоводственная характеристика (состав, тип леса, полнота, бонитет)	Фаза динамики	Количество деревьев в возрастных поколениях древостоев, %								
		До 80	81– 120	121– 160	161– 200	201– 140	241– 280	281– 320	321– 360	361 и более
Подзона средней тайги										
8С2Е; бр-баг; 0,6; III	Дм	32	21	11	5	15	5	1	6	4
10С; чер-лиш; 0,5; III; пир	Дг	12	2	5	22	32	22	2	2	1
10С+Б; лиш-бр; 0,5; III; пир	Дм	34	24	13	20	6	–	2	1	–
10С; лиш-бр; 0,5; III; пир	Дг	4	13	1	–	–	–	1	10	66
10С; мш-бр; 0,5; III; пир	Дг	14	2	4	21	28	18	–	1	12
Подзона северной тайги										
6С4Е+Б; бр-баг-лиш-мор; 0,4; V; пир	Кл	7	11	25	11	20	17	9	–	–
10С; бр-чер-баг; 0,6; IV; пир	Дг	13	22	4	31	25	5	–	–	–
9С1Е; бр-чер-вер; 0,6; IV; пир	Кл	10	15	47	18	10	–	–	–	–
10С+Е,Кд,Б; чер-бр-баг; 0,5; IV	Кл	22	10	11	14	14	8	6	5	10
10С+Е,Б; чер-баг; 0,5; IV; пир	Кл	13	15	12	29	13	5	8	2	3

Примечание. Типы леса: баг — багульниковый; бр — брусничник; вер — вересковый; гол — голубичный; лиш — лишайниковый; мор — морошковый; мш — мшистый; чер — черничный; фазы динамики: Дг — дигрессия; Дм — дему- тация; Кл — климакс. Пир — пироженный.

Т а б л и ц а 2

Состав и количество естественного возобновления сосны и сопутствующих пород в сосновых биогеоценозах средней и северной тайги Европейской России

Composition and amount of natural regeneration of pine and associated species in pine biogeocenoses of the middle and northern taiga in European Russia

Лесоводственная характеристика (состав, тип леса, полнота, бонитет)	Количество возобновления сосны по градациям высот, %						Количество подроста, шт./га		
	До 0,5 м	0,6–1,0 м	1,1–1,5 м	1,6–2,0 м	2,1–2,5 м	>2,5 м	Сосна	Другие породы*	Всего
Подзона средней тайги									
8С2Е; бр-баг; 0,6; III	13	17	14	16	22	18	3100	111	3241
10С; чер-лиш; 0,5; III; пир	49	18	10	10	8	5	14120	250	14370
10С+Б; лиш-бр; 0,5; III; пир	59	14	12	5	8	2	3519	135	3654
10С; лиш-бр; 0,5; III; пир	20	10	25	23	19	3	11493	53	11546
10С; мш-бр; 0,5; III; пир	68	13	5	3	6	5	10710	16	10726
Среднее ± ошибка средней	42 ± 9,9	15 ± 1,5	13 ± 2,8	11 ± 3,5	12 ± 3,0	7 ± 2,5	8588 ± 2315	113 ± 32	8701 ± 2347
Подзона северной тайги									
6С4Е+Б; бр-баг-лиш-мор; 0,4; V; пир	23	10	18	20	19	10	2540	360	2900
10С; бр-чер-баг; 0,6; IV; пир	43	24	14	14	–	5	210	390	600
9С1Е; бр-чер-вер; 0,6; IV; пир	25	27	12	13	11	12	1400	37	1437
10С+Е,Кд,Б; чер-бр-баг; 0,5; IV	42	16	13	8	2	19	1037	162	1199
10С+Е,Б; чер-баг; 0,5; IV; пир	38	27	11	9	8	7	1246	105	1351
Среднее ± ошибка средней	34 ± 3,4	21 ± 2,6	13 ± 1,0	13 ± 1,6	8 ± 2,3	11 ± 2,0	1287 ± 299,1	211 ± 56,0	1498 ± 307,0

*Другие породы: береза, осина, ива, ель.

Эта зависимость по средним значениям признаков имеет закономерный характер и линейную зависимость, со значением коэффициента корреляции, равным единице.

Вычислены ошибки средних значений возраста подростка сосны в градациях высот по подзонам тайги, которые имеют значения в пределах от 5 % для подростка высотой до 1,5 м и повышаются до 8 % для подростка высотой до 3,5 м.

Анализируя приведенные данные, можно отметить наибольшие значения возраста подростка в градациях высоты в подзоне северной тайги, наименьшие — в подзоне южной тайги. При близких условиях механического состава почвы под сосняками разных подзон тайги определяющими возраст подростка факторами являются локальные условия освещенности и географическая широта проводимых учетов подростка сосны.

При этом следует иметь в виду важное обстоятельство. Подрост коренных разновозрастных сосняков северной и средней тайги, произрастающих в мезофитных условиях (мшисто-брусничные, бруснично-чернично-багульниковые и др.) учитывался под пологом древостоев с полнотами, обеспечивающими его выживание — 0,6 и ниже, редко 0,7. В более южных сосняках, как упоминалось выше, обнаружить разновозрастные сосняки с подростом под пологом леса не удалось, поэтому искомые данные были получены при учетах на прогалинах или опушках сосняков с полнотами выше 0,6, но в тех же мезофитных условиях роста для этих условий.

Возраст соснового подростка, входящего в первое поколение для средней тайги достигает к высоте 1,5 м в среднем 35 лет, для северной тайги — к высоте 3,5 м — более 50 лет, в отдельных случаях 80 лет и более.

Лесные пожары в сосновых лесах, в том числе в девственных, не связанных по причинам возникновения с антропогенным воздействием, одновременно заметно снижают количество естественного возобновления, но в дальнейшем, минерализуя поверхность почвы, открывают возможности для появления более обильного возобновления сосны [1]. В то же время количество и интенсивность пожаров в сосняках связаны со структурными изменениями возрастных рядов древостоев, формируя их неравномерность по количеству деревьев в возрастных поколениях, способствуя появлению подгаров и заселению деревьев дереворазрушающими грибами, появлению гнилевых фаутов и вывалу деревьев первых поколений.

Пирогенные воздействия в сосняках изменяют структуру не только естественного возобновления, но и в значительной степени влияют на состояние и структуру древостоя в целом.

При отсутствии пирогенных воздействий основными возбудителями гнилей в сосняках естественного происхождения являются *Heterobasidium annosum* (Fr.) Bref. — корневая губка и *Phellinus pini* (Thore.: Fr.) Ames. [= *Porodaedalea pini* (Brot.: Fr.) Murrill] — сосновая губка; *Phaeolus schweinitzii* (Fr.) Pat. — трутовик швейница. Причем от южной тайги к северной представительство корневой губки в общем поражении сосняков сокращается и она сменяется сосновой губкой [4, 10]. В пределах возрастного ряда древостоев поражение закономерно увеличивается от последнего поколения к первому. Средние величины поражения девственных сосняков с полным возрастным рядом, в общем, невелики и составляют 10...15 %. Но пораженность деревьев первых поколений при этом может достигать 50 % и более.

Коренные девственные разновозрастные сосняки, пройденные низовыми пожарами, поражаются дереворазрушающими грибами биотрофного комплекса в значительно большей степени. Грибная инфекция проникает в стволы через подгары, что связано с развитием гнилевого поражения в основном деструктивными гнилями, вызванными серно-желтым трутовиком — *Laetiporus sulphureus* (Bull.: Fr) Murrill., северным трутовиком — *Climacocystis borealis* (Fr.) Kotl. Et Pouzar, трутовиком Швейница — *Phaeolus schweinitzii* (Fr.) Pat., окаймленным трутовиком — *Fomitopsis pinicola* (Sw.: Fr.) Karst. и в меньшей степени сосновой губкой, вызывающей коррозионную гниль [11].

По учетам подгаров комлевой части стволов до древесины в разновозрастных девственных сосняках средней тайги в Печоро-Ильчском заповеднике (Республика Коми), четырежды за свою жизнь пройденных пожарами, 82 % деревьев сосны разного возраста имеют гнили преимущественно деструктивного типа от III до IV стадий развития или имеют дупло. По данным работ [4, 17], для насаждений 50...200 лет пораженность сосняков центральной стволовой гнилью составляет в среднем $28,4 \pm 2,1$ %. Данные, полученные нами и опубликованные А.И. Татаринцевым, имеют принципиальное различие в величине гнилевого поражения деревьев сосны, определяемое в основном тремя факторами: местом проникновения возбудителя, расположением гнили в стволе дерева и видом самого возбудителя, вызывающего эту гниль. Наши сведения касаются пораженности, вызываемой грибами комлевого расположения, проникающими в деревья через подгары и формирующими в основном деструктивную гниль. Исследования А.И. Татаринцева связаны с изучением в основном одного базидиомицета — сосновой губки, вызывающей стволовую гниль, редко связанную с пирогенным воздействием.

Низовые пожары в разновозрастных сосняках имеют непосредственное и решающее влияние на формирование возрастной структуры древостоев, одновременно уничтожая подрост разного возраста. Именно по этой причине возрастные ряды сосновых лесов естественного формирования почти всегда имеют неравномерное, а зачастую прерывистое строение (см. табл. 1).

Выводы

Структура коренных девственных разновозрастных сосняков во многих случаях определяется пирогенными воздействиями разной периодичности и интенсивности, уничтожающими определенные поколения древостоев и формирующих неравномерные возрастные ряды. В долгом градиенте от подзоны средней тайги к северной количество естественного возобновления сосны в девственных разновозрастных сосняках сокращается более чем на 18 %. В то же время возраст подроста при одинаковых высотах в этом же градиенте неуклонно увеличивается при малых значениях ошибок средних значений возраста подроста в грациях высот. По средним значениям признаков эта зависимость имеет закономерный характер и линейную зависимость. Пораженность коренных разновозрастных сосняков биотрофными дереворазрушающими грибами составляет в среднем 10...15 % и многократно увеличивается от последних поколений к первым, особенно при наличии подгаров от прошедших в разное время низовых пожаров.

Список литературы

- [1] Зябченко С.С. Сосновые леса Европейского Севера. Л.: Наука, 1984. 244 с.
- [2] Валяев В.Н. Возрастная структура сосновых лесов Карелии // Лесоведение, 1968. № 6. С. 36–41.
- [3] Санников С.Н. Естественное возобновление сосны в сосняках северной тайги Зауралья // Тр. Комиссии по охране природы УФАН СССР. Вып. 1. «Природа и лесная растительность северной тайги Свердловской обл». Свердловск, 1964. С. 117–129.
- [4] Татаринцев А.И. К вопросу о закономерностях развития стволовой гнили в сосняках Красноярского Приангарья // Сб. науч. трудов «Лесная таксация и лесостроительство», 1996. С. 32–26.
- [5] Ежов О. Н. Распространение сосновой губки (*Phellinus pini* (Thore. ex Fr.) Pil. в средней подзоне тайги и ограничение ее вредности. СПб.: Автореф. дис. ... канд. биол. наук, 1998. 18 с.
- [6] Вакуров А.Д. Рост послепожарных сосняков в условиях Севера // Лесной журнал, 1973. № 4. С. 157–158.
- [7] Хатмуллин Р.З. Особенности естественного возобновления сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в естественных и антропогенно-нарушенных ландшафтах Южного Урала: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Уфа, 2011. 24 с.
- [8] Lust N. Analysis of a natural regeneration of Scots pine forests in the high compine after a fire // Silva Gent, 1988, no. 3, pp. 3–28.
- [9] Стороженко В.Г. Устойчивые лесные сообщества. М.: Гриф и К°, 2007. 190 с.
- [10] Стороженко В.Г., Крутов В.И., Руоколайнен А.В., Коткова В.М., Бондарцева М.А. Атлас-определитель дереворазрушающих грибов лесов Русской равнины. М.: Гриф и К°, 2014. 198 с.
- [11] Стороженко В.Г. Естественное возобновление в коренных разновозрастных ельниках европейской тайги России // Сибирский лесной журнал, 2017. № 3. С. 87–92.
- [12] Стороженко В.Г. Датировка разложения валежа ели // Экология, 1990. № 6. С. 66–69.
- [13] Стороженко В.Г., Бондарцева М.А., Соловьев В.А., Крутов В.И. Научные основы устойчивости лесов к дереворазрушающим грибам. М.: Наука, 1992. 221 с.
- [14] ОСТ 56-108–98 «Лесоводство. Термины и определения». URL: <https://dikipedia.ru/document/5319703> (дата обращения 05.01.2017).
- [15] Данилов С.А., Егоров В.М. Естественное возобновление сосны в Пензенской области. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2005. 167 с.
- [16] Куприянов А.Н., Стрельникова Т.О., Шершнева В.И. Возобновление в Верхне-Обских сосняках // Лесоведение, 2011. № 3. С. 59–62.
- [17] Татаринцев А.И. Центральная стволовая гниль в сосняках, пройденных низовыми пожарами // Сибирский экологический журнал, 1996. № 1. С. 31–45.
- [18] Демаков Ю.П., Нуреева Т.В., Пуряев А.С., Рыжков А.А. Закономерности развития древостоя в культурах сосны обыкновенной разной исходной густоты // Вестник ПГТУ. Серия: Лес. Экология. Природопользование, 2016. № 4 (32). С. 19–33.
- [19] Бунькова Н.П., Залесов С.В., Зотева Е.А., Магасумова А.Г. Основы фитомониторинга: учебное пособие. Екатеринбург: УГЛТУ, 2011. 89 с.
- [20] Баранник Л.П., Заблочный В.И. Экологические проблемы восстановления ленточных боров после пожаров // Известия АлтГУ, 1999. № 3. С. 61–64.
- [21] Юровских Е.В., Залесов С.В., Магасумова А.Г., Бачурин А.В. Густота и надземная фитомасса подроста сосны на бывших сельскохозяйственных угодьях // Аграрный вестник Урала, 2016. № 11 (153). С. 80–85.
- [22] Залесов С.В., Лобанов А.Н., Луганский Н.А. Рост и производительность сосняков искусственного и естественного происхождения: монография. Екатеринбург: УГЛТУ, 2002. 112 с.

Сведения об авторе

Стороженко Владимир Григорьевич — д-р биол. наук, вед. науч. сотр. лаборатории лесоводства и биологической продуктивности ФГБУН «Институт лесоведения РАН», lesoved@mail.ru

Поступила в редакцию 22.05.2019.

Принята к публикации 24.08.2019.

NATURAL REFORESTATION OF INDIGENOUS PINERY IN RUSSIAN TAIGA

V.G. Storozhenko

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

lesoved@mail.ru

The aim of the research is to study the quantitative and age indices of the natural renewal of pine in the indigenous, uneven-aged virgin pine forests of European Russia, to identify the specific features of the formation of natural pine regeneration with and without participation of the pyrogenic factor in the formation of pine tree structures. The structure of indigenous virgin uneven-aged pine forests in many cases depends on pyrogenic impact of different frequency and intensity. Forest ground fires destroy undergrowth of different age and height which entails a formation of irregular wood stands' age series. As the age and height of undergrowth increase, its quantity naturally decreases to values that ensure the formation of subsequent generations of trees in the uneven-aged structure of stands, which is associated with the development of sustainability of the uneven-aged pine forests. In the longitude gradient of pine growth in the territory of European Russia from the subzone of the middle taiga to the northern one, the amount of natural renewal of pine in virgin uneven-aged pine forests is reduced by more than 18 %. In the pine forests of the same regions, the age of undergrowth within the height gradations is steadily increasing. The statistical inaccuracies in the average values of the undergrowth age in heights gradations are insignificant: from 2 to 6 %. Judging by the average values of height and age, this dependence is regular and possesses linear characteristics. The volume of the native, uneven-aged pine forests infected by biotrophic wood-destroying fungi averages at 10–15 % and massively increases from the last generations of stands (undergrowth) to the first ones (maximum age of trees), especially when there are burned spots left after ground fires occurred at different times. The prevalence of indigenous pine-age trees with biotrophic wood-destroying fungi averages 10–15 % and increases many times from the last generations to the first, especially if there are podgars from ground fires at different times.

Keywords: uneven-aged pine forests, natural renewal of pine, height and age of pine, pyrogenic factor, wood-destroying fungi

Suggested citation: Storozhenko V.G. *Estestvennoe vozobnovlenie v korennykh raznovozrastnykh sosnyakakh Evropeyskoy taygi Rossii* [Natural reforestation of indigenous Pinery In Russian Taiga]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2019, vol. 23, no. 5, pp. 30–37. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-5-30-37

References

- [1] Zyabchenko S.S. *Sosnovyye lesa Yevropeyskogo Severa* [Pine forests of the European North]. Leningrad: Nauka, 1984, 244 p.
- [2] Valyayev V.N. *Vozrastnaya struktura sosnovykh lesov Karelii* [Age structure of pine forests of Karelia]. *Lesovedeniye* [Forest Science], 1968, no. 6, pp. 36–41.
- [3] Sannikov S.N. *Estestvennoye vozobnovleniye sosniv sosn'akakh severnoi taiga Zaural'ya* [Natural regeneration of pine in pine forests of the northern taiga of the Trans-Urals]. Tr. Komissii po okhrane prirody UFAN SSSR. Vyp. 1. «Priroda i lesnaya rastitel'nost' severnoy taygi Sverdlovskoy obl» [Proceedings of the Commission for Nature Conservation UFAN USSR. Iss. 1. «Nature and forest vegetation of the northern taiga of the Sverdlovsk region»]. Sverdlovsk, 1964, pp. 117–129.
- [4] Tatarintsev A.I. *K voprosu o zakonmernost'akh razvitiya stvolovoy gnili v sosnakakh Krasnoyarskogo Priangarya* [On the question of the regularities of development of stem rot in pine forests of the Krasnoyarsk Angara region] *Sb. nauch. trudov «Lesnaya taksatsiya i lesoustroystvo»* [Sat. scientific Proceedings «Forest inventory and forest management»], 1996, pp. 32–36.
- [5] Ezhov O.N. *Rasprostraneniye osnovoy gubki (Phellinus pini (Thore. ex Fr.) Pil. v sredney podzone taygi i ogranicheniye ee vredonosnosti. Avtoref. Diss. ... kand. biol. nauk* [Prevalence of Phellinus pini (Thore. ex Fr.) Pil in middle anderzone of taiga and limitation its harmfulness. Abstract. Diss. Cand. Sci. (Biol.)]. St. Petersburg, 1998, 18 p.
- [6] Vakurov A.D. *Rost poslepozharikh sosnyakov v usloviyakh Severa* [The growth of post-fire pine forests in the North]. *Lesnoy zhurnal* [Forest Journal], 1973, no. 4, pp. 157–158.
- [7] Khatmullin R.Z. *Osobennosti estestvennogo vozobnovleniya sosni obiknovennoy (Pinus sylvestris L.) v estestvennikh I antropogenno-narushennikh landshaftakh yuzhnogo Urala. Avtoref. Diss. ... kand. biol. nauk* [Peculiarities of the natural regeneration of Scots pine (Pinus sylvestris L.) in the natural and anthropogenically disturbed landscapes of the Southern Urals. Dis. ... Cand. Sci. (Biol.)]. Ufa, 2011, 24 p.
- [8] Lust N. Analysis of a natural regeneration of Scots pine forests in the high compine after a fire. *Silva Gent*, 1988, no. 3, pp. 3–28.
- [9] Storozhenko V.G. *Ustoichiviye lesniye soobtchestva. Teoriya i eksperiment* [Sustainability of forests communities. The theory and experiment]. Moscow: Grif and K°, 2007, 190 p.
- [10] Storozhenko V.G., Krutov V.I., Ruokolainen A.V., Kotkova V.M., Bondartseva M.A. *Atlas-opredelitel derevorazrushayutshikh gribov lesov Russkoy ravnini* [Identification guide for wood-destroying fungi of the Russian plane's forests]. Moscow: Grif and K°, 2014, 198 p.
- [11] Storozhenko V.G. *Estestvennoe vozobnovlenie v korennykh raznovozrastnykh el'nikakh evropeyskoy taygi Rossii* [Natural regeneration in indigenous even-aged spruce forest of the European taiga of Russian]. Moscow: Grif and K, 2017, pp. 87–92.
- [12] Storozhenko V.G. *Datirovka razlozheniya valezha eli* [The date of decomposition fallen of spruce]. *Ekologiya*, 1990, no. 6, pp. 66–69.
- [13] Storozhenko V.G., Bondartseva M.A., Solov'ev V.A., Krutov V.I. *Nauchnyye osnovy ustoychivosti lesov k derevorazrushayushchim gribam* [Scientific basis of forest resistance to wood-destroying fungi]. Moscow: Nauka [Science], 1992, 221 p.
- [14] OST 56-108-98 «Lesovodstvo. Terminy i opredeleniya» [OST 56-108-98 «Forestry. Terms and Definitions»]. URL: <https://dokipedia.ru/document/5319703> (accessed 05.01.2017).

- [15] Danilov S.A., Yegorov V.M. *Yestestvennoye vozobnovleniye sosny v Penzenskoy oblasti* [Natural renewal of pine in the Penza region]. Yoshkar-Ola: MarGTU, 2005, 167 p.
- [16] Kupriyanov A.N., Strel'nikova T.O., Shershnev V.I. *Vozobnovleniye v Verkhne-Obsskikh sosnyakakh* [Resumption in the Upper Ob pine forests]. *Lesovedeniye* [Forest Science], 2011, no. 3, pp. 59–62.
- [17] Tatarintsev A.I. *Tsentrал'naya stvolovaya gnil v sosnyakakh, ploidnykh nizovimi pozharami* [Central stem rot in pine forests covered by grass-roots fires]. *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal*, 1996, no. 1, pp. 31–45.
- [18] Demakov Yu.P., Nureeva T.V., Puryaev A.S., Ryzhkov A.A. *Zakonomernosti razvitiya drevostoya v kul'turakh sosny obyknovnoy raznoy iskhodnoy gustoty* [The laws of development of the stand in the cultures of ordinary pine of different initial density] *Bulletin of PSTU. Series: Forest. Ecology. Nature management*, 2016, no. 4 (32), pp. 19–33.
- [19] Bun'kova N.P., Zalesov S.V., Zoteeva E.A., Magasumova A.G. *Osnovy fitomonitoringa* [Fundamentals of phytomonitoring]. Ekaterinburg: UGLTU Publ., 2011, 89 p.
- [20] Barannik L.P., Zablotskiy V.I. *Ekologicheskie problemy vosstanovleniya lentochnykh borov posle pozharov* [Ecological problems of rebuilding of belt hog after fires] *Izvestiya Altai State University*, 1999, no. 3, pp. 61–64.
- [21] Yurovskikh E.V., Zalesov S.V., Magasumova A.G., Bachurina A.V. *Gustota i nadzemnaya fitomassa podrosta sosny na byvshikh sel'skokhozyaystvennykh ugod'yakh* [Density and aboveground phytomass of pine undergrowth on former agricultural lands] *Agrarnyy vestnik Urals* [Agrarian Bulletin of the Urals], 2016, no. 11 (153), pp. 80–85.
- [22] Zalesov S.V., Lobanov A.N., Luganskiy N.A. *Rost i proizvoditel'nost' sosnyakov iskusstvennogo i estestvennogo proiskhozhdeniya* [Growth and productivity of pine forests of artificial and natural origin]. Ekaterinburg: UGLTU Publ., 2002, 112 p.

Author's information

Storozhenko Vladimir Grigorevich — Dr. Sci. (Biol.), Chief Research Worker of laboratory forestry and biological productivity at the Forest Science Institute RAS, lesoved@mail.ru

Received 22.05.2019.

Accepted for publication 24.08.2019.

НОВЫЕ И РЕДКИЕ ЛИХЕНОЛОГИЧЕСКИЕ НАХОДКИ В ТЕЛЛЕРМАНОВСКОМ ОПЫТНОМ ЛЕСНИЧЕСТВЕ (ВОРОНЕЖСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Е.Э. Мучник

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

emuchnik@outlook.com

В результате лихенологических исследований, проведенных в 2018 г., уточнен список лишайнобиоты Теллермановского опытного лесничества, включающий 114 видов из 62 родов лишайников и близких к ним грибов. Среди выявленных видов *Arthonia didyma*, *Bacidia fraxinea*, *Bacidina phacodes*, *Gyalecta flotowii*, *Gyalecta truncigena*, *Ramalina calicaris*, *Ramalina europaea* и *Ramalina fastigiata* впервые указаны для Центрального Черноземья. Еще два вида — *Chaenotheca phaeocephala* и *Bactrospora dryina* — впервые обнаружены в Воронежской области. Все упомянутые виды, за исключением *Ramalina europaea* и *Bacidina phacodes*, крайне редко отмечались в Центральной России. Наибольшим богатством и специфичностью лишайнобиоты характеризуются нагорные дубняки Теллермановского опытного лесничества, в которых выявлены 92 вида, 24 (26,1 %) из них встречены только в данной группе типов леса. Установлено, что среди выявленных к настоящему моменту в Теллермановском опытном лесничестве — 6 видов лишайников, занесенных в Красную книгу Воронежской области: *Bryoria fuscescens*, *Cladonia digitata*, *Melanelixia glabra*, *Ramalina fraxinea*, *Tuckermannopsis chlorophylla*, *Usnea hirta*. Еще 12 видов включены в Приложение 1 (виды, нуждающиеся в постоянном контроле и наблюдении): *Acrocordia gemmata*, *Bacidia rubella*, *B. polychroa*, *Calicium glaucellum*, *Evernia mesomorpha*, *Inoderma byssaceum*, *Melanelixia subargentifera*, *Parmelina tiliacea*, *Physconia perisidiosa*, *Ramalina farinacea*, *Pertusaria albescens* и *P. amara*. Рекомендуются некоторые дополнения для списка охраняемых в регионе видов лишайников.

Ключевые слова: лишайники, лишайнобиота, редкие виды, Теллермановское опытное лесничество, Красная книга, Воронежская область, Центральное Черноземье

Ссылка для цитирования: Мучник Е.Э. Новые и редкие лихенологические находки в Теллермановском опытном лесничестве (Воронежская область) // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2019. Т. 23. № 5. С. 38–45. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-5-38-45

Теллермановское опытное лесничество Института лесоведения Российской академии наук (ТОЛ ИЛАН РАН, далее — ТОЛ) расположено в Грибановском районе Воронежской области (южная лесостепь, 51°21' с.ш., 42°00' в.д.) в пределах Теллермановского лесного массива на южной границе существования нагорных широколиственных лесов с господством поздней формы дуба (*Quercus robur var. tardiflora* Czern.). Возраст Теллермановского леса, вычисленный с применением методики радиоуглеродного анализа, оценивается примерно в 7 тыс. лет [1].

Площадь ТОЛ составляет 2025,9 га, из которых 195 га занимают солонцовые поляны, сенокосы, озера, дороги и прочие земли, остальную территорию занимает лесная растительность [2]. Растительный покров ТОЛ неоднократно изучался в самых различных аспектах на протяжении последних 75 лет, при этом состав и структура древесно-кустарниковых и травянистых ярусов освещались довольно широко [1, 3, 4]. Однако специальное изучение такого внеярусного компонента, как лишайники, началось сравнительно недавно, и имеющиеся сведения о лишайнобиоте далеко неполные.

Первый список лишайников ТОЛ, опубликованный в 2007 г. [5] включал в себя 80 видов и базировался на материалах полевых исследований 2005 г. Были отмечены редкие находки, в том числе видов — индикаторов старовозрастных лесов. Несколько видов рекомендованы к охране на территории Воронежской области. В основной перечень первого издания Красной книги Воронежской области [6] были занесены три вида лишайников, произрастающих в ТОЛ, еще шесть таких видов содержались в Приложении к ней (Список потенциально уязвимых видов растений, грибов и лишайников, нуждающихся в постоянном контроле и наблюдении). Для разработки раздела «Лишайники» второго издания региональной Красной книги [7] возникла необходимость ревизии имеющихся материалов и получения дополнительных сведений о лишайнобиоте указанного лесного массива.

Цель работы

Цель настоящего исследования — уточнение данных о видовом богатстве лишайнобиоты ТОЛ в целом и распределение его по типам леса; актуализация сведений о редких и индикаторных

видах лишайников, некоторые рекомендации по охране лишайников. Поскольку видовой состав лишайников лесостепных дубрав мало зависит от характера травянистого покрова, но проявляет зависимость от положения в ландшафте [8], учет видового состава проводился не по отдельным типам леса, а, скорее, по группам типов с приуроченностью к определенному ландшафту в ТОЛ — нагорному, склоновому и пойменному [1]. Под индикаторами биологически ценных лесных ландшафтов здесь мы понимаем следующие виды: предъявляющие высокие требования к условиям местообитания (стенотопные) и приуроченные исключительно к старовозрастным и/или сравнительно малонарушенным лесным сообществам, а также к старинным усадебным паркам; произрастающие в рассматриваемой природной зоне или подзоне на границе своих ареалов, поскольку в таких случаях экологическая ниша вида «автоматически» сужается [9].

Объекты и методы исследования

Объект исследования — лихенобиота ТОЛ. Проведена полная ревизия гербария, собранного в ТОЛ ранее, в 2005 г., — более 400 образцов. Полевые исследования проводились в августе 2018 г. маршрутным методом. Таким образом, с учетом исследований 2005 г., маршруты охватывают в настоящее время около 40 % территории ТОЛ и все группы типов леса. Сбор и камеральная обработка лихенологических материалов (около 480 образцов, включая небольшую коллекцию, собранную канд. биол. наук Г.Б. Колганихиной при проведении микологических обследований) осуществлялись с помощью общепринятых лихенологических методик [10] в Институте лесоведения РАН. Идентификация некоторых стерильных образцов проведена в Гомельском государственном университете им. Ф. Скорины (г. Гомель, Беларусь) методом тонкослойной хроматографии (ТЛС), проверка правильности определений сложных таксонов — в Ботаническом институте им. В.Л. Комарова (БИН) РАН (г. Санкт-Петербург). Гербарий хранится в Лаборатории экологии широколиственных лесов ИЛАН РАН, образцы некоторых редких видов переданы в лихенологический гербарий БИН РАН (LE-L). Номенклатура приводимых ниже видов соответствует в основном регулярно обновляемому списку A. Nordin et al. [11], названия древесных растений-форофитов — согласно сводке П.Ф. Маевского [12].

Результаты и обсуждение

В результате проведенных исследований список лихенобиоты ТОЛ в настоящее время включает в себя 114 видов из 62 родов лишайников

и близких к ним нелихенизированных грибов, традиционно анализируемых в лихенологических списках. *Anisomeridium biforme* (Borzer) R.C. Harris исключен по причине переопределения образцов. Впервые для изучаемого лесного массива выявлены 35 видов, среди которых есть очень редкие и интересные находки для Центрального Черноземья и Центрального Федерального округа в целом.

В материалах, собранных в 2005 г., удалось выявить дополнительно два вида, новых для Центрального Черноземья.

Bacidia fraxinea Lönng. (рис. 1) — индикаторный вид биологически ценных лесных ландшафтов на стволах *Acer platanoides* и *Fraxinus excelsior* в нагорных старовозрастных дубняках, кварталы 6 и 37, второе местонахождение в ЦФО, Тверская обл., Центрально-Лесной государственный природный биосферный заповедник [13].

Ramalina europea Gasparyan, Sipman et Luking (рис. 2) — на стволах *Acer platanoides*, *Fraxinus excelsior*, *Quercus robur* в нагорных и склоновых



Рис. 1. *Bacidia fraxinea*. Шкала 1 мм (фото В.Г. Кулакова)
Fig. 1. *Bacidia fraxinea*. Scalebar 1 mm (image by V.G. Kulakov)

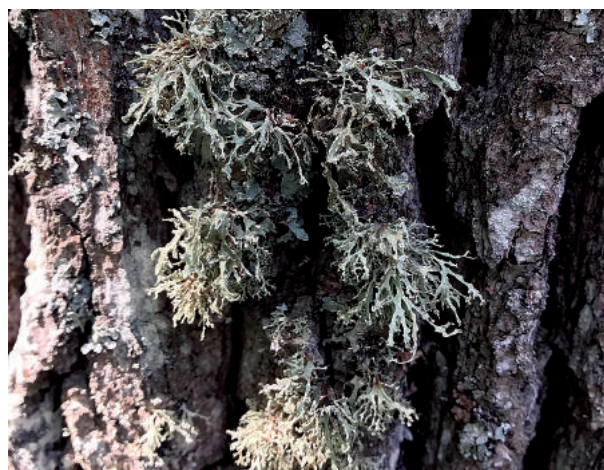


Рис. 2. *Ramalina europea* (фото V.D. Otte)
Fig. 2. *Ramalina europea* (image by V.D. Otte)



Рис. 3. *Chaenotheca phaeocephala*. Шкала 0,1 мм (фото В.Г. Кулакова)

Fig. 3. *Chaenotheca phaeocephala*. Scalebar 1 mm (image by V.G. Kulakov)



Рис. 4. *Gyalecta flotowii*. Шкала 0,5 мм (фото В.Г. Кулакова)

Fig. 4. *Gyalecta flotowii*. Scalebar 0,5 mm (image by V.G. Kulakov)

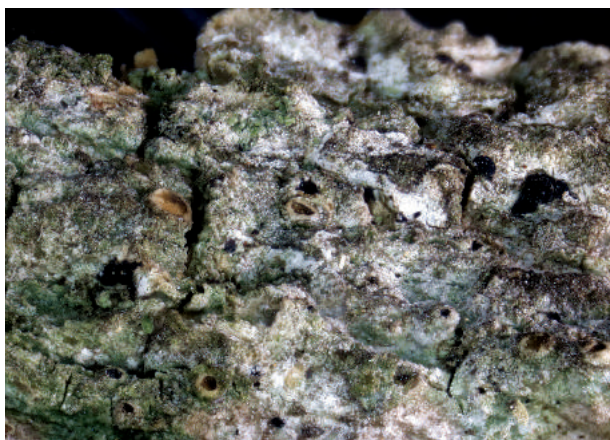


Рис. 5. *Gyalecta truncigena*. Шкала 0,5 мм (фото В.Г. Кулакова)

Fig. 5. *Gyalecta truncigena*. Scalebar 0,5 mm (image by V.G. Kulakov)

дубняках и ясенниках, кварталы 7, 19, 26, 36–38, 46, 65. Вид сравнительно недавно [14] выделен по совокупности морфологических и генетических признаков и, по-видимому, довольно широко распространен в ЦФО. В частности, кроме материалов из ТОЛ, он был выявлен в 2019 г. при ревизии наших сборов 2015 г. из Брянской обл. (государ-

ственный заповедник «Брянский лес») и сборов Л.Ф. Волосновой из Рязанской обл. (Окский государственный заповедник). Для понимания географического распространения *R. europea* в Центральном Черноземье и ЦФО требуется ревизия гербарных образцов группы *R. pollinaria* в коллекциях гербариев LE, MW, RAS, ОНН, VOR, VU, BRSU.

Среди наиболее интересных находок 2018 г. отметим следующие.

Arthonia didyma Nyl. — индикаторный вид биологически ценных лесных ландшафтов, на стволе *Acer platanoides* в старовозрастном нагорном дубняке, кв. 34. новый вид для Центрального Черноземья. Находки в ЦФО немногочисленны: указывались для старовозрастных лесов и старинных парков Тверской обл. [15], заповедника «Калужские засеки» [16]. Вид отмечен и в Рязанской обл. [17], заказник «Ермишинский».

Bacidina phacodes (Körb.) Vězda — на стволе *Acer platanoides* в нагорном дубняке, кв. 68. Новый вид для Центрального Черноземья. В ЦФО отмечается спорадически, вероятно, из-за малозаметных апотециев пропускается при сборах.

Vactrospora dryina (Ach.) A. Massal. — индикаторный вид биологически ценных лесных ландшафтов, на стволе *Tilia cordata* в старовозрастном нагорном дубняке, кв. 34; новый для Воронежской обл., третья находка в Центральном Черноземье, ранее дважды отмечался в Липецкой обл. [18]. В ЦФО также крайне редок. Кроме упомянутых находок единично встречен в Брянской обл., заповедник «Брянский лес» [19].

Chaenotheca phaeocephala (Turner) Th.Fr. (рис. 3) — индикаторный вид биологически ценных лесных ландшафтов, на стволе *Quercus robur* в старовозрастном нагорном дубняке, кв. 38; новый для Воронежской обл. Вторая находка — в Центральном Черноземье. Ранее вид единично собран в Белгородской обл., заповедник «Белогорье», участок «Лес на Ворскле» [20]. В ЦФО крайне редок. Кроме упомянутых находок отмечен в Тверской обл. [15].

Gyalecta flotowii Körb. (рис. 4) — индикаторный вид биологически ценных лесных ландшафтов, на стволе валежного *Acer platanoides* в старовозрастном нагорном дубняке, кв. 34. Новый вид для Центрального Черноземья. В ЦФО крайне редок. Ранее отмечался только в Тверской обл. [15].

G. truncigena (Ach.) Nepp (рис. 5) — индикаторный вид биологически ценных лесных ландшафтов, на стволе валежного *Acer platanoides* в старовозрастном нагорном дубняке, кв. 38; новый для Центрального Черноземья. В ЦФО редок. Были отмечены находки в Ярославской [21] и Тверской [15] областях.

Ramalina calicaris (L.) Fr. — индикаторный вид биологически ценных лесных ландшафтов, на стволах *Quercus robur* в солонцовом (18 кв.) и нагорном дубняках (38 кв.). TLC: отсутствие лишайниковых веществ. Новый для Центрального Черноземья. Ранее отмечался в Московской [22] и Орловской [23] областях. Указания из Рязанской обл. [24] не подтверждены ревизией образцов рода *Ramalina* в гербарии Окского государственного заповедника, проведенной в июне 2019 г. V.D. Otte.

R. fastigiata (Pers.) Ach. — индикаторный вид биологически ценных лесных ландшафтов, на стволе *Quercus robur* в склоновом дубняке, 38 кв. TLC: еверниевая кислота. Новый для Центрального Черноземья. В ЦФО вид встречается рассеянно, указывался в основном в первой половине XX в. для Московской, Владимирской, Калужской и Смоленской областей [25–27].

К любопытной с экологической точки зрения находке мы относим также *Diploschistes muscorum* (Scop.) R. Sant., обитающего на мхах и талломе *Cladonia sp.* на основании старого дуба в нагорном дубняке, кв. 34. Ранее в Центральном Черноземье этот вид неоднократно отмечался нами в петрофитно-кальцефитных степных сообществах. Впервые обнаружен в затененных и относительно влажных лесных условиях. В монографии [28] приведены сведения о произрастании *D. muscorum* на стволах деревьев березы (изредка сосны) в горных березняках. Такие находки свидетельствуют о более широкой экологической пластичности вида в отношении субстратов, условий влажности и освещенности.

Исследования, проведенные в 2018 г., позволили уточнить распределение видового богатства лишайнобиоты по группам типов леса ТОЛ. Всего в нагорных лесах выявлены 92 вида лишайников и близких к ним грибов, 24 из которых (26,1 %) специфичны для этой группы типов леса. В склоновых дубняках (включая солонцовые) и ясенниках собраны 67 видов, шесть из них (9,0 %) являются специфичными. В пойменных лесах обнаружены 60 видов, из которых специфичны четыре (6,67 %).

Нагорные и склоновые леса ТОЛ характеризуются, по-видимому, оптимальными условиями для произрастания охраняемых в регионе неморальных видов *Melanelixia glabra* (рис. 6) и *Ramalina fraxinea* (рис. 7), которые встречаются здесь довольно часто, заселяя стволы *Quercus robur*, *Fraxinus excelsior*, *Acer sp.*

Очень редкие в Воронежской обл. и Центральном Черноземье бореальные виды лишайников (*Bryoria fuscescens*, *Tuckermannopsis chlorophylla*, *Usnea hirta*) распространены на южной границе своего ареала в склоновых (солонцовых) дубня-



Рис. 6. *Melanelixia glabra* (фото В.Г. Кулакова)
Fig. 6. *Melanelixia glabra* (image by V.G. Kulakov)



Рис. 7. *Ramalina fraxinea* (фото V.D. Otte)
Fig. 7. *Ramalina fraxinea* (image by V.D. Otte)

ках, где выявлены их единичные местонахождения. Только в пойменном дубняке отмечен охраняемый бореальный вид *Cladonia digitata*.

Выводы

Среди выявленных к настоящему моменту в ТОЛ лишайников шесть видов занесены в Красную книгу Воронежской области [7]: *Bryoria fuscescens*, *Cladonia digitata*, *Melanelixia glabra*, *Ramalina fraxinea*, *Tuckermannopsis chlorophylla*, *Usnea hirta*. Еще 12 видов включены в Приложение 1 (виды, нуждающиеся в постоянном контроле и наблюдении): *Acrocordia gemmata*,

Bacidia rubella, *B. polychroa*, *Calicium glaucelum*, *Evernia mesomorpha*, *Inoderma byssaceum*, *Melanelixia subargentifera*, *Parmelina tiliacea*, *Physconia perisidiosa*, *Ramalina farinacea*, *Pertusaria albescens* и *P. amara*. Подавляющее большинство из этой группы видов относится к индикаторам старовозрастных и малонарушенных лесных и парковых сообществ [29], сохраняющих свои индикаторные свойства от северо-западных до центральных регионов России, а также биологически ценных лесных ландшафтов [9]. К этой же группе принадлежат впервые выявленные при обследовании 2018 г. и имеющие пока единичные (1–3 экз.) местонахождения в Центральном Черноземье *Arthonia didyma*, *Bacidia fraxinea*, *Vactrospora dryina*, *Chaenotheca phaeocephala*, *Gyalecta flotowii*, *G. truncigena*, *Ramalina calicaris*, *R. fastigiata*. Эти находки подтверждают исключительную роль коренных старовозрастных насаждений лесничества в сохранении разнообразия лишенобиоты Центрального Черноземья.

Целесообразно включить в список охраняемых в регионе видов *Ramalina calicaris*, *R. fastigiata*, предварительно с категорией 4 (недостаточно данных), и продолжить исследования их экологии и распространения в регионе. Остальные упомянутые виды мы рассматриваем как пополнение списка нуждающихся в постоянном контроле и наблюдении, в перспективе необходимо изучить и закартировать их местонахождения в пределах ТОЛ.

Приношу искреннюю благодарность всему коллективу филиала Теллермановское опытное лесничество Института лесоведения РАН за содействие в организации исследований. Исключительная признательность канд. биол. наук А.Г. Цурикову (Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, Беларусь) за помощь в проведении химического анализа стерильных образцов, а также канд. биол. наук О.А. Катаевой (БИН РАН, г. Санкт-Петербург) и Dr. V.D. Otte (Senckenberg Museum für Naturkunde Görlitz, Germany) за проведение ревизии образцов рода *Ramalina*. Благодарю В.Г. Кулакова (Всероссийский центр карантина растений, пос. Быково, Раменский район Московской обл.) за фотографирование образцов лишайников. Выражаю признательность коллективу Лаборатории лишенологии и бриологии БИН РАН за предоставленную возможность работы в гербарии LE-L.

Список литературы

- [1] Экосистемы Теллермановского леса / Отв. ред. В.В. Осипов. М.: Наука, 2004. 340 с.
- [2] Проект освоения лесов на лесном участке, переданном в постоянное (бессрочное) пользование Филиалу Теллермановское опытное лесничество Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института лесоведения Российской Академии наук в целях осуществления научно-исследовательской деятельности, образовательной деятельности на территории Теллермановского лесничества Воронежской области. Воронеж, 2019. 114 с.
- [3] Биогеоэкологические исследования в дубравах лесостепной зоны: Сборник статей / Отв. ред. В.Н. Сукачев. М.: Изд-во Акад. наук СССР, 1963. 184 с.
- [4] Зворыкина К.В. Дубравы лесостепи в биогеоэкологическом освещении / Отв. ред. А.А. Молчанов. М.: Наука, 1975. 374 с.
- [5] Мучник Е.Э. К изучению лишенофлоры Теллермановского опытного лесничества (Воронежская обл., Россия) // Материалы II Междунар. науч.-практ. конф. «Актуальные проблемы ботаники и методики преподавания биологии», Белгород, 24–26 сентября 2007 г. Белгород: ИПЦ «Политера», 2007. С. 96–103.
- [6] Красная книга Воронежской области. В 2 т. Т. 1: Растения. Лишайники. Грибы / под ред. В.А. Агафонова. Воронеж: МОДЭК, 2011. 472 с.
- [7] Красная книга Воронежской области. В 2 т. Т. 1: Растения. Лишайники. Грибы / под ред. В.А. Агафонова. Воронеж: Центр духовного возрождения Черноземного края, 2018. 416 с.
- [8] Мучник Е.Э. Лишенофлора Центрального Черноземья: таксономический и эколого-географический анализы, вопросы охраны: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Воронеж, 2003. 40 с.
- [9] Мучник Е. Э. Лишайники как индикаторы состояния лесных экосистем центра Европейской России // Лесотехнический журнал, 2015. Т. 5. № 3(19). С. 65–76. DOI: 10.12737/14154
- [10] Степанчикова И.С., Гагарина Л.В. Сбор, определение и хранение лишенологических коллекций // Флора лишайников России: Биология, экология, разнообразие, распространение и методы изучения лишайников / под ред. М.П. Андреева, Д.Е. Гимельбранта. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2014. С. 204–219.
- [11] Nordin A. Santesson's Checklist of Fennoscandian Lichen-forming and Lichenicolous Fungi. Version 29. April 2011. URL: <http://130.238.83.220/santesson/home.php> (дата обращения 07.05.2019).
- [12] Маевский П.Ф. Флора средней полосы европейской части России. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2014. 635 с.
- [13] Нотов А.А., Гимельбрант Д.Е. Новые дополнения к лишенофлоре Тверской области // Вестник Твер. гос. ун-та. Сер. биол. и экол., 2015. № 1. С. 151–155.
- [14] Gasparyan A., M. Sipman H.J., Lücking R. *Ramalina europaea* and *R. labiosorediata*, two new species of the *R. pollinaria* group (Ascomycota: Ramalinaceae), and new typifications for *Lichen pollinarius* and *L. squarrosus* // The Lichenologist, 2017, v. 49, no. 4, pp. 301–319. DOI: <http://dx.doi.org/10.1017/S0024282917000226>
- [15] Нотов А.А., Гимельбрант Д.Е., Урбанавичюс Г.П. Аннотированный список лишенофлоры Тверской области. Тверь: Твер. гос. ун-т, 2011. 124 с.
- [16] Гудовичева А.В., Гимельбрант Д.Е. Дополнения к лишенофлоре севера Среднерусской возвышенности // Вестник Твер. гос. ун-та. Сер. биол. и экол., 2012. Вып. 25. С. 150–164.
- [17] Muchnik E.E., Konoreva L.A. The lichen biota of protected territories in Ryazan region (Central Russia) // Lichen protection – Protected lichen species. Gorzow Wlkp.: Sonar Literacki, 2012, pp. 213–220.

- [18] Мучник Е.Э. Дополнения к лихенофлоре Липецкой области и Центрального Черноземья // Состояние редких видов растений и животных Липецкой области. Воронеж: Научная книга, 2012. С. 19–30.
- [19] Мучник Е.Э. К изучению лихенобиоты заповедника «Брянский лес» (Неруссо-Деснянское Полесье, Брянская область) // Лесоведение, 2017. № 5. С. 73–80. DOI: 10.7868/S0024114817050084
- [20] Мучник Е.Э. Новые и редкие виды в лихенофлоре заповедных территорий Центрального Черноземья // Новости систематики низших растений. Т. 45. СПб.; М.: Товарищество научных изданий КМК, 2011. С. 199–203.
- [21] Мучник Е.Э. Новые виды лишайников Ярославской области (Центральная Россия) // Новости систематики низших растений. Т. 43. СПб.; М.: Товарищество научных изданий КМК, 2009. С. 199–205.
- [22] Бязров Л.Г. Видовой состав лихенобиоты Московской области. URL: http://www.sevin.ru/laboratories/biazrov_msk.html (дата обращения 07.05.2019).
- [23] Мучник Е.Э. Конспект лихенобиоты Орловской области (Центральная Россия) // Фиторазнообразия Восточной Европы, 2016. № 3. С. 6–28.
- [24] Жданов И.С., Волоснова Л.Ф. Материалы к лихенофлоре Мещёрской низменности (в пределах Владимирской и Рязанской областей) // Новости систематики низших растений. Т. 46. СПб.; М.: Товарищество научных изданий КМК, 2012. С. 145–160.
- [25] Еленкин А.А. Флора лишайников Средней России. Ч. 1. Предисловие. Общая часть. Систематическая часть: сем. Umbilicariaceae, Parmeliaceae, Stereocaulaceae. Юрьев: Типография К. Маттисена, 1906. С. 1–184.
- [26] Петров И.П. Болота долины Яхромы: Ботан. исслед. болот долины Яхромы в Дмитров. уезде Моск. губ. в 1909 и 1911 г.: Отчет Деп. зем. и Дмитр. уезд. земству И.П. Петрова, канд. сел. хоз-ва Петров. с.-х. акад. М.: Дмитров. уезд. земство, 1912. Т. XXXII. 320 с.
- [27] Томин М.П. Материалы к лишайниковой флоре Смоленской губернии // Зап. С.-х. ин-та им. Петра I в Воронеже, 1918. Т. 2–3. С. 105–128.
- [28] Исмаилов А.Б., Урбанавичюс Г.П. Лихенофлора Гуньбского плато. Махачкала, 2014. 270 с.
- [29] Гимельбрант Д.Е., Кузнецова Е.С. Лишайники // Выявление и обследование биологически ценных лесов на Северо-Западе европейской части России. В 2 т. Т. 2. Пособие по определению видов, используемых при обследовании на уровне выделов / отв. ред. Андерссон Л., Алексеева Н.М., Кузнецова Е.С. СПб.: Line advertising group, 2009. С. 93–138.

Сведения об авторе

Мучник Евгения Эдуардовна — д-р биол. наук, доцент, вед. науч. сотр. лаборатории экологии широколиственных лесов ФГБУН «Институт лесоведения РАН», emuchnik@outlook.com

Поступила в редакцию 14.07.2019.

Принята к публикации 24.08.2019.

NEW AND RARE LICHENOLOGICAL RECORDS IN TELLERMAN EXPERIMENTAL FORESTRY (VORONEZH REGION)

E.E. Muchnik

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

emuchnik@outlook.com

As a result of lichenological studies conducted in 2018, the list of lichen biota of TEF was refined, including 114 species from 62 lichen genera and allied fungi. Among the identified species, *Arthonia didyma*, *Bacidia fraxinea*, *Bacidina phacodes*, *Gyalecta flotowii*, *Gyalecta truncigena*, *Ramalina calicularis*, *Ramalina europaea* and *Ramalina fastigiata* are for the first time indicated for the Central Black Soil Region. Two more species (*Chaenotheca phaeocephala* and *Bactrospora dryina*) were first found in the Voronezh region. All the mentioned species, with the exception of *Ramalina europaea* and *Bacidina phacodes*, were extremely rare records for Central Russia. The greatest richness and specificity of lichen biota are characterized by upland forests of TEF, which identified 92 species and 24 (26,1 %) of which are found in this group of forest types only. In general, among the TEF identified to date are 6 lichen species listed in the Red Data Book of the Voronezh Region: *Bryoria fuscescens*, *Cladonia digitata*, *Melanelixia glabra*, *Ramalina fraxinea*, *Tuckermannopsis chlorophylla*, *Usnea hirta*. Another 12 species are included in Appendix 1 (species in need of constant monitoring and observation): *Acrocordia gemmata*, *Bacidia rubella*, *Bacidia polychroa*, *Calicium glaucellum*, *Evernia mesomorpha*, *Inoderma byssaceum*, *Melanelixia subargentifera*, *Parmelina tiliacea*, *Parmelina tiliacea*, *Physconia perisidiosa*, *Ramalina farinacea*, *Pertusaria albescens* and *Pertusaria amara*. Some additions are recommended for the list of lichen species protected in the region.

Keywords: lichens, lichen biota, rare species, Tellerman Experimental Forestry, Red Data Book, Voronezh region, Central Black Soil Region

Suggested citation: Muchnik E.E. *Novye i redkie likhenologicheskie nakhodki v Tellermanovskom opytном lesnichestve (Voronezhskaya oblast')* [New and rare lichenological records in Tellerman experimental forestry (Voronezh region)]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2019, vol. 23, no. 5, pp. 38–45. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-5-38-45

Reference

- [1] *Ekosistemy Tellermanovskogo lesa* [Ecosystems of Tellerman forest]. Ed. V.V. Osipov. Moscow: Nauka, 2004, 340 p.
- [2] *Proekt osvoeniya lesov na lesnom uchastke, peredannom v postoyannoe (bessrochnoe) pol'zovanie Filialu Tellermanovskoe opytное lesnichestvo Federal'nogo gosudarstvennogo byudzhethnogo uchrezhdeniya nauki Instituta lesovedeniya Rossiyskoy Akademii nauk v tselyakh osushchestvleniya nauchno-issledovatel'skoy deyatel'nosti, obrazovatel'noy deyatel'nosti na territorii Tellermanovskogo lesnichestva Voronezhskoy oblasti* [Forest development project in the forest area transferred to the permanent (perpetual) use of the Branch Tellerman Experimental Forestry of the Federal State Budgetary Institution of Science of the Institute of Forest Science of the Russian Academy of Sciences in order to carry out research and educational activities in the Tellerman forestry of the Voronezh Region]. Voronezh, 2019, 114 p.
- [3] *Biogeotsenoticheskie issledovaniya v dubravakh stepnoy zony* [Biogeocenotic studies in oak forests of the steppe zone]. Ed. V.N. Sukachev. Moscow: Acad. Sciences USSR, 1963. 184 p.
- [4] Zvorykina K.V. *Dubravyye lesostepi v biogeotsenologicheskom osveshchenii* [Oakwoods of forest-steppe in biogeocenological coverage]. Moscow: Nauka, 1975, 374 p.
- [5] Muchnik E.E. *K izucheniyu likhenoflory Tellermanovskogo opytного lesnichestva (Voronezhskaya obl., Rossiya)* [To study lichen flora of Tellerman experimental forestry (Voronezh region, Russia)] *Materialy II Mezhdunarodnoy nauch.-prakt. konf. «Aktual'nye problemy botaniki i metodiki prepodavaniya biologii», g. Belgorod, 24–26 sentyabrya 2007 g.* [Materials of the II International Scientific Practical. Conf., Belgorod, September 24–26, 2007] Belgorod: Politera, 2007, pp. 96–103.
- [6] *Krasnaya kniga Voronezhskoy oblasti: v 2 t. T. 1: Rasteniya. Lishayniki. Griby* [The Red Book of the Voronezh Region: in 2 volumes. Vol. 1: Plants. Lichens. Fungi]. Ed. V.A. Agafonov. Voronezh: MODEK, 2011, 472 p.
- [7] *Krasnaya kniga Voronezhskoy oblasti. V 2 t. T. 1: Rasteniya. Lishayniki. Griby* [The Red Book of the Voronezh Region: in 2 volumes. Vol. 1: Plants. Lichens. Fungi]. Ed. V.A. Agafonov. Voronezh: Tsentр dukhovnogo vozrozhdeniya Chernozemnogo kraya, 2018, 416 p.
- [8] Muchnik E.E. *Likhenoflora Tsentral'nogo Chernozem'ya: taksonomicheskyy i ekologo-geograficheskiy analizy, voprosy okhrany: Avtoref. diss. ... d-ra biol. nauk* [The Lichen flora of the Central Black Soil Region: taxonomic and ecological-geographical analyzes, protection issues: Diss. ... Dr. Sci. (Biol.)]. Voronezh: Voronezh State University, 2003, 40 p.
- [9] Muchnik E. E. *Lishayniki kak indikatorы sostoyaniya lesnykh ekosistem tsentra evropeyskoy Rossii* [Lichens as indicators of forest ecosystems in the Center of European Russia] *Lesotekhnicheskyy zhurnal* [Forestry Engineering Journal], 2015, v. 5, no. 3(19), pp. 65–76. DOI: 10.12737/14154
- [10] Stepanchikova I.S., Gagarina L.V. *Sbor, opredelenie i khraneniye likhenologicheskikh kollektsey* [Collection, Definition and Storage of Lichenological Collections] *Flora lishaynikov Rossii: Biologiya, ekologiya, raznoobrazie, rasprostraneniye i metody izucheniya lishaynikov* [Lichen Flora in Russia: Biology, Ecology, Diversity, Distribution, and Methods for Study Lichens]. Moscow–St. Petersburg: KMK Scientific Press, 2014, pp. 204–219.
- [11] Nordin A. Santesson's Checklist of Fennoscandian Lichen-forming and Lichenicolous Fungi. Version 29. April 2011. URL: <http://130.238.83.220/santesson/home.php> (accessed 07.05.2019).
- [12] Maevskiy P.F. *Flora sredney evropeyskoy chasti Rossii* [Flora of the middle zone of the European part of Russia]. Moscow: Tovarishchestvo nauchnykh izdaniy KMK [KMK Scientific Press], 2014, 635 p.
- [13] Notov A.A., Gimel'brant D.E. *Novyye dopolneniya k likhenoflore Tverskoy oblasti* [New additions to the lichen flora of Tver region] *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Biologiya i ekologiya* [Bulletin of Tver State University. Series: Biology and Ecology], 2015, no. 1, pp. 151–155.
- [14] Gasparyan A., Sipman H.J., Lücking R. *Ramalina europaea* and *R. labiosorediata*, two new species of the *R. pollinaria* group (Ascomycota: Ramalinaceae), and new typifications for *Lichen pollinarius* and *L. squarrosus*. *The Lichenologist*, 2017, v. 49, no. 4, pp. 301–319. DOI: <http://dx.doi.org/10.1017/S0024282917000226>
- [15] Notov A.A., Gimel'brant D.E., Urbanavichyus G.P. *Annotirovannyy spisok likhenoflory Tverskoy oblasti* [The list of lichens and allied fungi of Tver region]. Tver: Tver State University, 2011, 124 p.
- [16] Gudovicheva A.V., Gimel'brant D.E. *Dopolneniya k likhenoflore severa Srednerusskoy vozvysheynosti* [Contribution to the lichen flora of southern part of the Mid-Russian upland] *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Biologiya i ekologiya* [Bulletin of the Tver State University, Series: Biology and Ecology], 2012, v. 25, no. 3, pp. 150–164.
- [17] Muchnik E.E., Konoreva L.A. The lichen biota of protected territories in Ryazan region (Central Russia). Lichen protection – Protected lichen species. Gorzow Wlkp.: Sonar Literacki, 2012, pp. 213–220.
- [18] Muchnik E.E. *Dopolneniya k likhenoflore Lipetskoy oblasti i Tsentral'nogo Chernozem'ya* [Supplements to lichen flora of the Lipetsk region and the Central Black Soil Region]. *Sostoyaniye redkikh vidov rasteniy i zhivotnykh Lipetskoy oblasti* [The state of plants and animals rare species of the Lipetsk region]. Voronezh: Nauchnaya kniga, 2012, pp. 19–30.
- [19] Muchnik E.E. *K izucheniyu likhenobioty zapovednika «Bryanskiy les» (Nerusso-Desnyanskoe Poles'e, Bryanskaya oblast')* [To the study of lichen biota of «Bryansky les» State Nature Reserve (Nerusso-Desnyanskoye Polesie, Bryansk region)] *Lesovedeniye* [Forest science], 2017, no. 5, pp. 73–80. DOI: 10.7868/S002411481
- [20] Muchnik E.E. *Novyye i redkiye vidy v likhenoflore zapovednykh territoriy Tsentral'nogo Chernozem'ya* [New and rare species in lichen flora of protected areas of Central Chernozem regijn (Euporean part of Russia)]. *Novosti sistematiki nizshikh rasteniy* [News of non-vascular plants systematic], t. 45. Moscow–St. Petersburg: Tovarishchestvo nauchnykh izdaniy KMK [KMK Scientific Press], 2011, pp. 199–203.
- [21] Muchnik E.E. *Novyye vidy lishaynikov Yaroslavskoy oblasti (Tsentral'naya Rossiya)* [Lichen species new to Yaroslavl region (Central Russia)]. *Novosti sistematiki nizshikh rasteniy* [News of non-vascular plants systematic], t. 43. Moscow–St. Petersburg: KMK Scientific Press, 2009, pp. 199–205.
- [22] Byazrov L.G. 2009. *Vidovoy sostav likhenobioty Moskovskoy oblasti* [Species composition of lichen biota of Moscow region], 2009. Available at: http://www.sevin.ru/laboratories/biazrov_msk.html (accessed 22.06.2019).
- [23] Muchnik E.E. *Konspekt likhenobioty Orlovskoy oblasti (Tsentral'naya Rossiya)* [Lichen biota of Oryol region (Central Russia): An annotated checklist] *Fitoraznoobrazie Vostochnoy Evropy* [Phytodiversity of Eastern Europe], 2016, no. 3, pp. 6–28.

- [24] Zhdanov I.S., Volosnova L.F. *Materialy k likhenoflore Meshcherskoy nizmennosti (v predelakh Vladimirskoy i Ryazanskoy oblasti)* [Contributions to the lichen flora of Meshchora lowland (within Vladimir and Ryasan regions)] *Novosti sistematiki nizshikh rasteniy* [News of non-vascular plants systematic], t. 46. Moscow–St. Petersburg: KMK Scientific Press, 2012, pp. 145–160.
- [25] Elenkin A.A. *Flora lishaynikov Sredney Rossii. Ch. I. Predislovie. Obshchaya chast'. Sistematicheskaya chast': sem. Umbilicariaceae, Parmeliaceae, Stereocaulaceae* [The Lichen Flora of Central Russia. Part 1. Preface. A common part. The systematic part. Familia Umbilicariaceae, Parmeliaceae, Stereocaulaceae]. Yuriev: Tipografiya K. Mattisena [K. Mattisen printing house], 1906, pp. 1–184.
- [26] Petrov I.P. *Bolota doliny Yakhromy: Botan. issled. bolot doliny Yakhromy v Dmitrov. uезде Mosk. gub. v 1909 i 1911 g.: Otchet Dep. zem. i Dmitr. uезд. zemstvu I.P. Petrova, kand. sel. khoz-va Petrov. s.-kh. akad.* [Swamps of the Yakhroma Valley: Botanical Studies of the Swamps of the Yakhroma Valley in the Dmitrovsky District of the Moscow Province in 1909 and 1911]. Moscow: Dmitrov. uезд. zemstvo [Dmitrovsky District Council], 1912, t. XXXII, 320 p.
- [27] Tomin M.P. *Materialy k lishaynikovoy flore Smolenskoy gubernii* [Materials to the lichen flora of the Smolensk province] *Zapiski sel'skhozjaystvennogo instituta im. Petra I v Voronezhe* [Notes of the Voronezh Agricultural Institute], 1918, v. 2–3, pp. 105–128.
- [28] Ismailov A.B., Urbanavichyus G.P. *Likhenoflora Gunibskogo plato* [The Lichen flora of the Gunib Plateau]. Mahachkala, 2014, 270 p.
- [29] Gimel'brant D.E., Kuznetsova E.S. *Lishayniki // Vyavlenie i obsledovanie biologicheski tsennykh lesov na Severo-Zapade Evropeyskoy chasti Rossii. V 2 t. T. 2. Posobie po opredeleniyu vidov, ispol'zuemykh pri obsledovanii na urovne vydelov* [Survey of biologically valuable forests in north-western European Russia. Part 2. Identification manual of species to be used during survey and stand level]. St. Petersburg: Line advertising group., pp. 93–138.

Author's information

Muchnik Evgeniya Eduardovna — Dr. Sci. (Biology), Associated Professor, Leading Researcher of the Laboratory of Ecology of Deciduous Forests, Institute of Forest Science of the Russian Academy of Sciences, emuchnik@outlook.com

Received 14.07.2019.

Accepted for publication 24.08.2019.

УДК 581.13:581.14

DOI: 10.18698/2542-1468-2019-5-46-53

ОСОБЕННОСТИ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ ХВОЙНЫХ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТВАЛАХ ЕГОРЬЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ФОСФОРИТОВ

О.В. Чернышенко, С.Б. Васильев

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

Дана оценка минерального питания древесных растений, используемых для создания лесных культур при восстановлении лесного участка Егорьевского месторождения фосфоритов: сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*), ели европейской (*Picea abies*), сосны сибирской кедровой (*Pinus sibirica*) и лиственницы сибирской (*Larix sibirica*) в возрасте 6...12 лет. Рассмотрены поглощение питательных веществ этими растениями, дальнейшее распределение и реутилизация в органах растений. Отмечены небольшие концентрации азота, фосфора, калия и других биогенных элементов в почвенном растворе. Показано, что преобладание вечнозеленых деревьев на неплодородных почвах связано с их сниженной потребностью в элементах питания. Сделан вывод о целесообразности выращивания исследуемых культур на техногенных ландшафтах. Установлены различия в способности поглощать и накапливать необходимые элементы (азот, серу, фосфор) исследуемыми видами древесных растений. Определена потребность в сбалансированном питании для видов интродуцентов, произрастающих в экстремальных условиях. Отмечена их способность эффективно поглощать и использовать минеральные элементы по сравнению с местными видами. В целях разработки рациональных практических мероприятий по повышению устойчивости к неблагоприятным внешним воздействиям и увеличению продуктивности лесных культур необходимо дальнейшее изучение минерального питания древесных растений.

Ключевые слова: лесные культуры, минеральное питание, хвойные деревья, продуктивность

Ссылка для цитирования: Чернышенко О.В., Васильев С.Б. Особенности минерального питания хвойных древесных растений на промышленных отвалах Егорьевского месторождения фосфоритов // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2019. Т. 23. № 5. С. 46–53. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-5-46-53

Для выявления закономерностей роста хвойных древесных растений в экстремальных условиях, особенностей их развития и возможностей адаптации крайне необходимо полное изучение путей поступления питательных элементов в растения и особенностей транспортировки по тканям, последующего распределения и реутилизации в органах.

Макроэлементы обычно содержатся в почвенных растворах в низких концентрациях — 10^{-6} ... 10^{-8} М. Таких концентраций достаточно для удовлетворения потребностей растений в минеральных веществах. Корневые волоски способны увеличивать площадь поглощения микроэлементов из почвы [1]. Питательные вещества перемещаются из почвенных растворов к корням в результате диффузии, в зависимости от связей элементов с частицами почвы. В частности, фосфаты хорошо связываются с почвой, а нитраты — плохо. Очень подвижные элементы (например, магний) отмечаются быстротой движения к корневой поверхности в результате диффузии с помощью потока воды и часто накапливаются возле корней, когда снабжение элементом превышает необходимое поглощаемое количество.

Концентрации азота, фосфора и калия часто так малы в почвенном растворе, что массивный поток воды обеспечивает незначительное количество потребностей растений в них [2].

Поглощение питательных веществ растениями включает в себя движение ионов из почвы к поверхности корней посредством диффузии, накопление ионов в клетках корней, радиальное движение ионов от поверхности корней в ксилему, перемещение ионов из корней в побеги. Неопробковавшиеся корни древесных растений составляют небольшую часть поверхности корня и не поглощают все необходимые ионы и воду, поэтому важно, что поглощение часто осуществляется через опробковавшиеся корни [3]. Количество и виды ионов, поглощаемых растениями, зависят от специфики вида и генотипа растения, наличия микоризы, от влияния условий окружающей среды, таких, как плодородие и влажность почвы, метаболизм корней.

Виды древесных растений характеризуются большими различиями по способности поглощать и использовать минеральные питательные вещества. В частности, широколиственные деревья поглощают больше питательных веществ, чем хвойные [4].

Поэтому вечнозеленые древесные растения преобладают на неплодородных почвах и неровностях рельефа, а широколиственные древесные растения произрастают на соседних, более плодородных почвах [5]. Деревья тополя (*Populus nigra*) возрастом 16 лет содержат азот, фосфор, калий, кальций и магний в 2 раза больше чем южные

сосны такого же возраста [6]. Содержание золы у цветущего кизила обыкновенного, дуба белого и ликвидамбара смолоносного примерно в 2 раза больше (7,0...7,2 %), чем у ладанной и виргинской сосен (3,0...3,5 %) на одном и том же участке произрастания [7]. Многие авторы отмечают, что в различных клонах одного вида древесных растений наблюдаются отличия в показателях роста. Накопление азота, фосфора, натрия, магния и бора было различным у 45 деревьев сосны обыкновенной с одного местопроизрастания. Однако, по мнению Боуэна [8], ограничивающим фактором для поглощения ионов из почвы является не способность растений к поглощению, а перенос ионов через почву. Р.Е. Годдард и С.А. Холлис исследовали генетическую основу питания лесных деревьев минеральными веществами [9].

Грибы-микоризообразователи имеют очень важное значение для увеличения поглощения минеральных веществ из почвы [10]. П. Крамер [11] показал, что корни сосен с микоризами накапливают наибольшее количество радиоактивного фосфора. Грибы-микоризы переносят фосфор, азот, кальций, натрий из субстрата в корни деревьев [12]. Исследователи отмечают [13], что объем почвы, занятой корнем с микоризами может в 10 раз превышать объем, занимаемый корнем без микоризы. Использование деревьями микоризы влияет не только на рост отдельных деревьев, но и на структуру насаждений и экосистемы в целом [14]:

– создание более благоприятных условий для деревьев в борьбе за питательные вещества по сравнению с растениями напочвенного покрова;

– уменьшение борьбы за существование между растениями и повышение производительности насаждений, состоящих из большого количества видов (особенно на неплодородных землях);

– усиление перераспределения питательных веществ между растениями, необходимых для роста более высоких деревьев.

Количество поглощенных веществ растением зависит от плодородия почвы. Поступление питательных веществ из почвы оказывает влияние не только на общее увеличение сухого веса растений, но и на распределение сухого вещества в растениях. При этом высокий уровень доступных питательных веществ связан с более значительным распределением их между побегами, чем между корнями. Например, рост корней составил 23 % всего ежегодного производства биомассы 40-летней дугласии на участке земли, богатым минеральными веществами, и 53 % — на неплодородном участке [15]. Влажность почвы, например, очень низкая или очень высокая, тормозит рост корней. Недостаток воды влияет на сокращение поверхности корней, находящихся в контакте с

почвенными водами, а поглощение питательных веществ в сухих почвах прекращается. Почвенная засуха приводит к дегидратации листьев, закрытию устьиц и ограниченному перемещению воды по растению. Устьица начинают закрываться, когда уменьшается тургор замыкающих клеток, даже задолго до того, как завянут листья [16].

Недостаток минеральных питательных веществ в почве встречается достаточно часто, что ограничивает рост деревьев. Элементы, необходимые для роста, включают в себя макроэлементы (азот, фосфор, кальций, магний и серу) и микроэлементы (железо, марганец, цинк, медь, бор, молибден, никель и хлор). Минеральные питательные вещества имеют важное значение как компоненты растительных тканей, катализаторов, осмотических регуляторов, компонентов буферных систем и регуляторов проницаемости мембран. Недостаток минеральных веществ замедляет вегетативный и репродуктивный рост, вызывает изменения физиологических процессов. Видимые симптомы дефицита минеральных веществ включают в себя хлороз, некроз листьев, розеткообразование, поражения покровных тканей и обильное образование смолы. Количество минеральных питательных веществ у деревьев различается в зависимости от вида и генотипа, почвенных условий, времени года, и они не будут одинаковыми в разных органах одного и того же растения.

В лесах оптимальное количество питательных веществ в почве поддерживается за счет круговорота веществ. В умеренных и бореальных лесах большинство питательных веществ содержится в почве и в лесной подстилке. Количество минеральных питательных веществ в почве увеличивается в результате выпадения атмосферных осадков, выветривания, разложения лесной подстилки, а также выделений корней растений.

Цель работы

Целью настоящей работы является оценка минерального питания лесных культур для определения эффективности их применения при восстановлении лесного участка после техногенного воздействия на месторождении фосфоритов.

Материалы и методы

В условиях Нечерноземной зоны РФ расположены и эксплуатируются четыре крупных фосфоритных месторождения. В Московской обл. находится одно из самых крупных — Егорьевское месторождение фосфоритов (ЕМФ). На его техногенных отвалах образовавшихся в процессе добычи руды, сформировались преимущественно дерново-подзолистые, супесчаные и песчаные почвы. Основную часть участка рекультивации данного техногенного ландшафта занимают

лесные культуры [17]. При посадке лесных культур был использован посадочный материал хвойных саженцев с открытой корневой системой и применены бактериальные препараты в виде водных растворов. Обработку корней саженцев осуществляли путем их обмакивания в торфо-глиняной болтушке с добавлением рабочего раствора бактериального препарата. В ходе эксперимента были высажены четыре ряда: 1-й ряд — контрольный, без использования микробиологических удобрений; 2-й ряд — с использованием азотовита; 3-й ряд — с использованием фосфатовита; 4-й ряд — с использованием азотовита и фосфатовита в комплексе. Исследования проводились по 902 деревьям. Водный раствор препарата был приготовлен из расчета 50 мл препарата на 10 л воды. Из смеси препаратов — азотовита и фосфатовита приготовили рабочий раствор из расчета 50 мл каждого препарата на 10 л воды. В качестве объектов исследования выбрали такие виды как: сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*), ель европейская (*Picea abies*), сосна сибирская кедровая (*Pinus sibirica*) и лиственница сибирская (*Larix sibirica*) в возрасте деревьев 6...12 лет. Опытные посадки закладывали в условиях выровненного агрофона, единственным отличием между вариантами служило применение различных бактериальных препаратов. Посадку осуществляли по схеме и с густотой, принятой в лесном хозяйстве. У всех растений были измерены диаметр корневой шейки и высота надземной части. У отдельных саженцев дополнительно измеряли размеры корневой системы, их дополнительно помечали клейкой лентой.

В целях определения устойчивости растений к новым условиям произрастания и их продуктивности проанализировали использование ими макроэлементов из почвы и интенсивность накопления питательных веществ в органах. Для этого 4 раза в течение вегетации 2017 г. с мая по сентябрь брали образцы органов растений с 20 деревьев каждого вида и каждого варианта с южной стороны кроны, с каждого дерева в трехкратной повторности. По полученным экспериментальным данным можно сделать вывод о целесообразности выращивания исследуемых культур на техногенных ландшафтах. Все лабораторные исследования проводились в лаборатории физиологии растений МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал). Определение содержания азота, серы и фосфора проводили микрометодом Кьельдаля по Плешкову [18].

Результаты и обсуждение

Минеральное питание сосны обыкновенной. Потребление макроэлементов у сосны обыкновенной резко возрастает после 15 лет, к 45 годам дерево достигает максимума поглощения,

что соответствует интенсивному приросту фитомассы, затем скорость поглощения снижается [19]. С возрастом дерева поглощение и аккумуляция им питательных веществ уменьшается, но масса древесины увеличивается. В этот период лучевая паренхима перестает выполнять аккумулятивные функции, поскольку цитоплазма деградирует. Содержание азота, фосфора и калия в хвое существенно снижается по мере ее старения, а количество магния и кальция возрастает [20]. Исследователи отмечают, что поглощенный из почвы азот поступает в хвою [21]. У возрастных деревьев большая часть поглощенного азота также поступает в хвою (36 %), а остальная часть распределяется между стволом с ветвями (33 %) и корнями (32 %). При этом следует учитывать, что ствол и ветви по биомассе составляют 76 % по сравнению с другими органами, на хвою приходится всего 4 %.

В хвое сосны экспериментальных деревьев нами было проанализировано содержание азота, серы и фосфора. При этом сравнивали хвою 1-го и 2-го года жизни, а также три варианта с использованием различных удобрений при посадке лесных культур и контрольного ряда, без применения удобрений. В течение вегетации достоверных отличий по содержанию азота, серы и фосфора в хвое 1-го и 2-го года жизни растений на всех опытных вариантах по сравнению с контрольными не наблюдалось (рис. 1). Возможно, это связано с одинаковой метаболической активностью хвои 1-го года жизни во всех вариантах опыта. Достоверные отличия по содержанию азота и серы были зарегистрированы в хвое 2-го года жизни, при этом следует отметить варианты с фосфатовитом и комплексные удобрения азотовита и фосфатовита. При этом на всех вариантах по применению удобрений наблюдалось увеличение высоты и диаметра саженцев в 1,7...1,8 раз по сравнению с контрольным вариантом.

По соотношению N/P были получены коэффициенты 6,0–7,2. Оптимальные для сосны соотношения азота к фосфору 11–13, однако полученные нами данные достоверно ниже. Динамика содержания макроэлементов в хвое показала, что максимальное накопление зарегистрировано в июне и июле, что связано с активностью роста деревьев в это время.

Минимальное содержание макроэлементов в августе и сентябре можно объяснить реутилизацией этих элементов в конце вегетационного периода. Несмотря на низкие показатели поглощения макроэлементов за вегетацию, по соотношению N/S/P можно говорить о сбалансированном минеральном питании деревьев сосны обыкновенной в данных условиях произрастания. Исследователи отмечают [22], что хороший рост деревьев сосны возможен

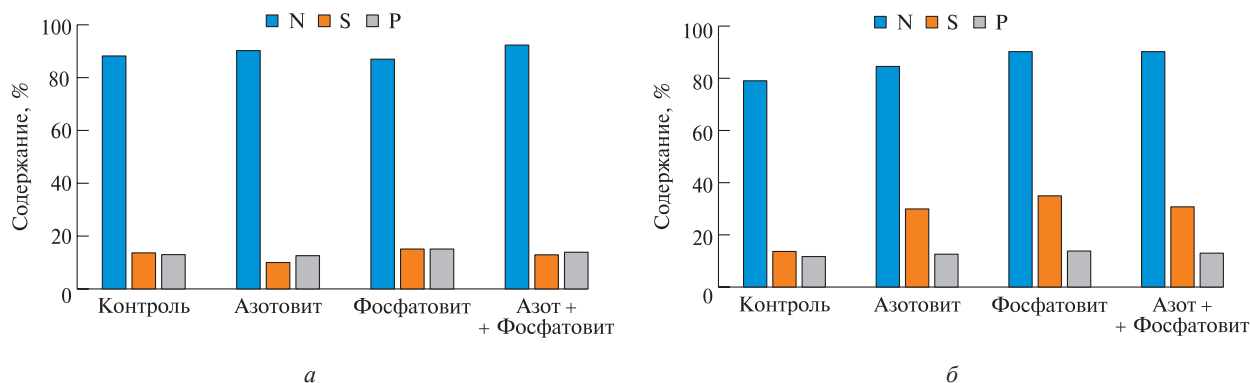


Рис. 1. Содержание макроэлементов в хвое сосны обыкновенной в июне (%): а — хвоя 1-го года; б — хвоя 2-го года

Fig. 1. The content of macronutrients in pine needles in June (%): а — needles of the 1st year; б — needles of the 2nd year

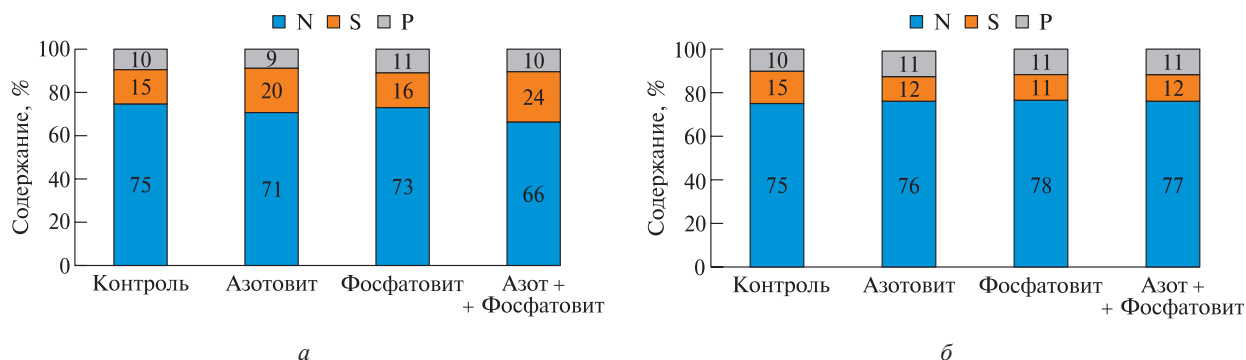


Рис. 2. Соотношение макроэлементов в хвое ели европейской в июне: а — 1-го года жизни; б — 2-го года жизни

Fig. 2. The ratio of macronutrients in needles of European spruce in June: а — 1 year of life; б — 2nd year of life

при широком диапазоне содержания элементов в хвое, %: азот 1,2...1,3; фосфор 0,15...0,70; калий 0,56...1,70. Такие отличия объясняются зависимостью содержания питательных элементов в хвое от плодородия почв, физиологического возраста хвои, положения в кроне, сомкнутости кроны, фенофазы, интенсивности и направленности роста, метеопараметров вегетации и др.

Минеральное питание ели европейской. Ель европейская — быстрорастущая порода, однако в течение первых 10 лет жизни она растет медленно. Ель предпочитает супесчаные свежие почвы, к тому же более кислые. Содержание макроэлементов в хвое ели определяли дважды за вегетацию — в июне и сентябре. Биохимический анализ выявил пониженное содержание азота, серы и фосфора по сравнению с литературными данными [21]. Достоверность различий по четырем вариантам эксперимента и по годам жизни хвои зарегистрировано не было. В сентябре наблюдалось снижение содержания азота в хвое 1-го года в 1,4 раза, серы — в 1,6, фосфора — в 3,5 раза. Для хвои 2-го года зарегистрировано аналогичное снижение содержания элементов, но в большей степени, в

частности, количество азота уменьшилось в 6 раз, фосфора — в 4 раза, а содержание серы при этом не изменилось. Такие данные могут свидетельствовать о прекращении всех ростовых процессов в сентябре и косвенно подтверждают, что вегетация лета 2017 г. была достаточно короткая, низкие температуры лета и повышенное количество осадков могли повлиять на содержание основных элементов питания в древесных растениях.

Древесные растения используют минеральные вещества экономно, некоторые элементы питания даже в течение всей жизни. Осенью основные элементы питания оттекают в ствол, где сохраняются до нового периода роста — следующей весны. Соединения азота и фосфора очень подвижны. Сера занимает промежуточное место по степени реутилизации.

Питательные элементы передвигаются из хвои по флоэме до тканей стебля. Элементы питания совершают круговорот по растению. Соотношение азота и фосфора у ели также минимально, если сравнивать природные условия произрастания. Так, в начале вегетации этот показатель находился в диапазоне 6,6...8,3, в сентябре он снизился до 5...6.

Как видно из рис. 2, соотношение азота, серы и фосфора достаточно сбалансированное в хвое 1-го и 2-го года жизни. Содержание серы достоверно больше в хвое 1-го года, что связано с процессами интенсивного роста хвои этого возраста в июне. Она аккумулирует серу из других органов и хвои 2-го года жизни для синтеза белков, ферментов, биологически активных веществ. Разли-

чия по росту во всех вариантах незначительные, возможно, это связано с особенностью роста ели в указанный период жизни.

Минеральное питание лиственницы сибирской. Экологическая пластичность и адаптационные способности к неблагоприятным факторам окружающей среды этого вида древесного растения подтверждается широким ареалом его распространения. Лиственница достаточно засухоустойчива, характеризуется средней требовательностью к влаге и плодородию почвы. Наибольшая продуктивность лиственницы сибирской характерна для плодородных хорошо дренированных свежих суглинистых и супесчаных карбонатных почвах.

Анализ хвои показал, что содержание (в процентах) азота на контрольном варианте и участке с внесением азотовита отличалось в июне и в июле, хотя достоверных различий по росту в конце вегетации в этих вариантах не наблюдалось. В августе и сентябре эти различия не наблюдались (рис. 3). Резкое уменьшение азота в хвое в августе и сентябре можно объяснить преждевременной перестройкой к ранней осени, поскольку вегетация 2017 г. была аномально холодной при повышенном количестве осадков. Потребность в азоте коррелирует со скоростью роста. Если большая часть годового прироста наблюдается в начале вегетационного периода, то дерево использует в это время много поглощенного азота. Большая часть азота поступает из запасов дерева, поскольку лесная почва бедна доступными формами азота. Азот поступает в растение медленно, однако он мобилен, быстро передвигается в растущие ткани.

Количество имеющегося азота варьирует в разных тканях, а с возрастом — по стадиям роста и временам года. Большая часть азота находится в протоплазме в связанном виде, в составе физиологически активных веществ. Поэтому высокие концентрации азота обнаруживаются в хвое. Если сравнивать соотношение макроэлементов в хвое, то можно отметить способность корневой системы лиственницы сбалансированно извлекать элементы питания даже на субстратах с пониженным содержанием элементов. По отношению азота к фосфору у лиственницы был диапазон 6,6...8,3 в июне и 7,1...7,7 в июле, что свидетельствует о плохой обеспеченности в основных элементах питания. Однако доля трех элементов — азота, серы и фосфора составляет примерно равное количество, а по сравнению с местными видами достоверно возрастает доля серы.

Минеральное питание сосны сибирской кедровой. Вид малотребователен к теплу, морозоустойчив, эдафическая амплитуда довольно широка. Сосна сибирская кедровая может

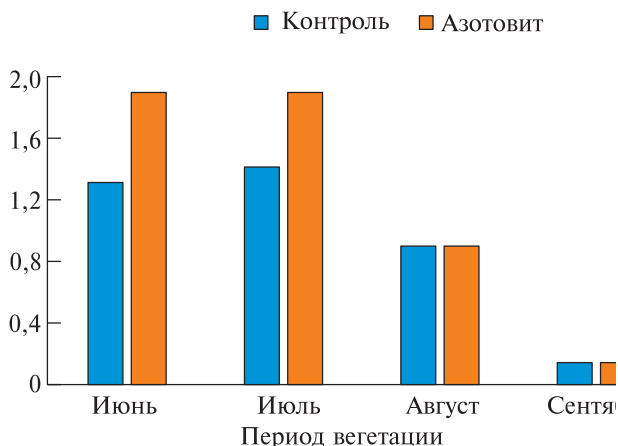


Рис. 3. Содержание азота (%) в хвое лиственницы сибирской в течение вегетации на двух участках

Fig. 3. The nitrogen content (%) in the needles of Siberian larch during the growing season in two areas

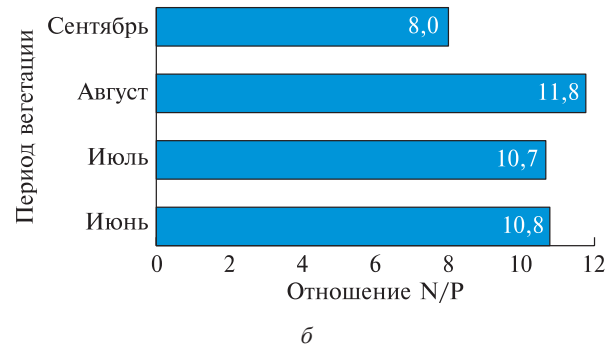
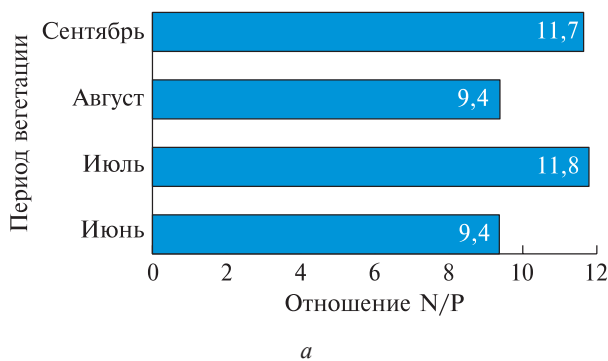


Рис. 4. Соотношение азота к фосфору (N/P) в хвое сосны сибирской кедровой в течение вегетации: а — 1-го года; б — 2-го года

Fig. 4. The ratio of nitrogen to phosphorus (N/P) in the needles of Siberian stone pine during the growing season: а — 1 year; б — 2nd year

произрастать на каменистых почвах в горах, на заболоченной почве, в Восточной Сибири растет на вечной мерзлоте. К сожалению, экспериментальные участки по использованию различных минеральных удобрений при посадке лесных культур не сохранились. Мы исследовали только один вариант — контрольный. Для кедра характерно сбалансированное содержание макроэлементов, а именно азота, серы и фосфора (рис. 4). Для хвой 1-го года зарегистрировано оптимальное соотношение в июле и сентябре, что, возможно, связано с этапами роста дерева. Для хвой 2-го года оптимальное соотношение отмечается в июле и августе, что соответствует срокам интенсивного фотосинтеза. В это время хвоя 2-го года поставляет ассимиляты для роста всего дерева.

По соотношению азота, серы и фосфора максимальные показатели поглощения азота были зарегистрированы в июле, что соответствует активному росту в этот период. В течение вегетации эти соотношения изменялись — первые месяцы в связи с активным ростом и синтезом большого количества веществ в хвое, в сентябре, в конце вегетации, полученные данные можно объяснить быстрым оттоком азота в ствол и складированием его (реутилизацией). Соотношение фосфора было минимальным во все сроки вегетации.

Выводы

Хвойные растения приспособлены к различным условиям минерального питания. Уменьшение питательных элементов в почве не всегда быстро отражается на изменениях химического состава растений. Анализ динамики поглощения и накопления макроэлементов из почвы в периоды максимального роста необходим для определения оптимального уровня минерального питания растений. Важно использовать обогащение почвы микрофлорой, способствующей поглощению макроэлементов растениями, особенно азота. При создании лесных культур на субстратах ЕМФ нужно учитывать особенности минерального питания древесных растений для установления уровня содержания элементов, необходимых для хорошего роста. Совершенствование методов диагностики дефицита элементов питания и анализ факторов, влияющих на уровень поглощения элементов корнями, способствуют успешному созданию лесных насаждений. В почвах ЕМФ распространен недостаток азота, наблюдается дефицит фосфора и калия, поэтому необходимо внесение удобрений не только один раз при посадке лесных культур. Внесение бактериальных удобрений при создании лесных культур оказывает положительное влияние на приживаемость саженцев.

Список литературы

- [1] Tinker P.B., Nye P.H. Solute Movement in the Rhizosphere // Oxford University Press, New York, 2000, 370 p.
- [2] Chapin F.S. The mineral nutrition of wild plants // *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, 1980, no. 11, pp. 233–260.
- [3] Sands R., Fiscus E.L., Reid C.P.P. Hydraulic properties of pine and bean roots with varying degrees of suberization, vascular differentiation, and mycorrhizal infection // *Aust. J. Plant Physiol.*, 1982, no. 9, pp. 559–569.
- [4] Ralston C.W., Prince A.B. Accumulation of dry matter and nutrients by pine and hardwood forests in the lower Piedmont of North Carolina // *Forest-Soil Relationships of North America*. Corvallis: Oregon State Univ. Press, 1965, pp. 77–94.
- [5] Monk C.D. An ecological significance of ever greenness // *Ecology*, 1966, no. 47, pp. 504–505.
- [6] Switzer G.L., Nelson L.E., Baker J.B. Accumulation and distribution of dry matter and nutrients in Aigeiros poplar plantations // *Proceedings: Symposium on Eastern Cottonwood and Related Species*. Div. of Continuing Education, Louisiana State Univ., Baton Rouge, 1976, pp. 359–369.
- [7] Coile T.S. Composition of leaf litter of forest trees // *Soil. Sci.*, 1937, no. 43, pp. 349–355.
- [8] Bowen G.D. Roots as component of tree productivity // *Attributes of Trees as Crop Plants* / Eds. M.G.R. Cannell, J.E. Jackson. Huntington, England: Institute of Terrestrial Ecology, 1985, pp. 303–315.
- [9] Goddard R.E., Hollis C.A. The genetic basis of forest tree nutrition // *Nutrition of Plantation Forests*. London, New York: Academic Press, 1984, pp. 237–258.
- [10] Harley J.L., Smith S.E. Mycorrhizal Symbiosis. New York: Academic Press, 1983, 483 p.
- [11] Kramer P.J. Water Relations of Plants. New York: Academic Press, 1983, 489 p.
- [12] Melin E., Nilsson H., Hacskeylo E. Translocation of cations to seedlings of *Pinus virginiana* through mycorrhizal mycelium // *Bot. Gaz.*, 1958, no. 119, pp. 243–245.
- [13] Bowen G.D., Theodorou C. Studies on phosphorus uptake by mycorrhizas // *Proc. Int. Union. Forest Res. Organ*, 1967, v. 5, p. 116.
- [14] Perry D.A., Molina R., Amaranthus M.P. Mycorrhizae, mycorrhizospheres, and reforestation: Current knowledge and research needs // *Can. J. For. Res.*, 1987, no. 17, pp. 929–940.
- [15] Keyes M.R., Grier C.C. Above and below net production in 40-year-old Douglas-fir stands on low and high productivity sites // *Can. J. Res.*, 1981, no. 11, pp. 599–605.
- [16] Kozłowski T.T. Water supply and tree growth. Part I. Water deficits // *For. Abstr.*, 1982, no. 43, pp. 57–95.
- [17] Васильев С.Б. Типы лесных культур на промышленных отвалах Подмосквья (на примере Егорьевского месторождения фосфоритов): дис. канд. с.-х. наук. М.: МГУЛ, 2000. 20 с.
- [18] Плешков Б.П. Практикум по биохимии растений. М.: Агропромиздат, 1985. 255 с.
- [19] Судачкова Н.Е., Гирс Г.И., Прокушкин С.Г. Физиология сосны обыкновенной. Новосибирск: Наука, 1990. 248 с.
- [20] Прокушкин С.Г. Минеральное питание сосны (на холодных почвах). Новосибирск: Наука, 1982. 200 с.
- [21] Чернобровкина Н.П. Экофизиологическая характеристика использования азота сосны обыкновенной. СПб.: Наука, 2001. 175 с.
- [22] Прокушкин С.Г., Бузыкин А.И. Минеральное питание сосняков // *Леса Среднего Приангарья*. Новосибирск: Наука, 1977. С. 192–249.

Сведения об авторах

Чернышенко Оксана Васильевна — д-р биол. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), tchernychenko@mgul.ac.ru

Васильев Сергей Борисович — канд. с.-х. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), svasilyev@mgul.ac.ru

Поступила в редакцию 04.02.2019.

Принята к публикации 24.06.2019.

MINERAL NUTRITION SPECIFICITY OF CONIFEROUS TREES ON INDUSTRIAL WASTE DISCHARGE OF EGORIEVSK PHOSPHORITE DEPOSIT

O.V. Chernyshenko, S.B. Vasilyev

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

tchernychenko@mgul.ac.ru

The estimation of mineral nutrition of woody plants used for creation of forest cultures in the Egorievsk deposit of phosphorite was made in in this article. Absorption of nutrients by plant roots, their further distribution and reutilization in organs was considered. Concentrations of nitrogen, phosphorus, potassium, and other nutrients are small in the soil solution. The predominance of coniferous trees on infertile soils is associated with their lower need for nutrients. Lack of nutrients in the soil is quite common, and it limits the growth of trees. Scots pine (*Pinus sylvestris*), European spruce (*Picea abies*), Siberian cedar pine (*Pinus sibirica*) and Siberian larch (*Larix sibirica*) were selected as objects of study. Trees were in age 6–12 years. Plant organ samples were taken from 20 trees of each species from May to September during the 2017 vegetation period. The obtained experimental data allow us to draw a conclusion about the feasibility of growing the studied trees on technogenic landscapes. Differences in the ability to absorb and accumulate the necessary elements (nitrogen, sulfur, phosphorus) were revealed for the studied species of woody plants. Species of introducents growing in extreme conditions, have a more balanced mineral nutrition, they have adapted to effectively absorb and use mineral elements compared to local species. The study of woody plants mineral nutrition is necessary for the development of rational practical measures to increase adverse external influences resistance and increase the productivity of forest plantations.

Keywords: forest plantations, mineral nutrition, conifer, productivity

Suggested citation: Chernyshenko O.V., Vasilyev S.B. *Osobennosti mineral'nogo pitaniya khvoynykh drevesnykh rasteniy na promyshlennykh otvalakh Egor'evskogo mestorozhdeniya fosforitov* [Mineral nutrition specificity of coniferous trees on industrial waste discharge of Egorievsk phosphorite deposit]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2019, vol. 23, no. 5, pp. 46–53. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-5-46-53

References

- [1] Tinker P.B., Nye P.H. *Solute Movement in the Rhizosphere*. Oxford University Press, New York, 2000, 370 p.
- [2] Chapin F.S. The mineral nutrition of wild plants. *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, 1980, no. 11, pp. 233–260.
- [3] Sands R., Fiscus E.L., Reid C.P.P. Hydraulic properties of pine and bean roots with varying degrees of suberization, vascular differentiation, and mycorrhizal infection. *Aust. J. Plant Physiol.*, 1982, no. 9, pp. 559–569.
- [4] Ralston C.W., Prince A.B. Accumulation of dry matter and nutrients by pine and hardwood forests in the lower Piedmont of North Carolina. *Forest-Soil Relationships of North America*. Corvallis: Oregon State Univ. Press, 1965, pp. 77–94.
- [5] Monk C.D. An ecological significance of ever greenness. *Ecology*, 1966, no. 47, pp. 504–505.
- [6] Switzer G.L., Nelson L.E., Baker J.B. Accumulation and distribution of dry matter and nutrients in Aigeiros poplar plantations. *Proceedings: Symposium on Eastern Cottonwood and Related Species*. Div. of Continuing Education, Louisiana State Univ., Baton Rouge, 1976, pp. 359–369.
- [7] Coile T.S. Composition of leaf litter of forest trees. *Soil. Sci.*, 1937, no. 43, pp. 349–355.
- [8] Bowen G.D. Roots as component of tree productivity. *Attributes of Trees as Crop Plants*. Eds. M.G.R. Cannell, J.E. Jackson. Huntington, England: Institute of Terrestrial Ecology, 1985, pp. 303–315.
- [9] Goddard R.E., Hollis C.A. The genetic basis of forest tree nutrition. *Nutrition of Plantation Forests*. London, New York: Academic Press, 1984, pp. 237–258.
- [10] Harley J.L., Smith S.E. *Mycorrhizal Symbiosis*. New York: Academic Press, 1983, 483 p.
- [11] Kramer P.J. *Water Relations of Plants*. New York: Academic Press, 1983, 489 p.
- [12] Melin E., Nilsson H., Hacskaylo E. Translocation of cations to seedlings of *Pinus virginiana* through mycorrhizal mycelium. *Bot. Gaz.*, 1958, no. 119, pp. 243–245.
- [13] Bowen G.D., Theodorou C. Studies on phosphorus uptake by mycorrhizas. *Proc. Int. Union. Forest Res. Organ*, 1967, v. 5, p. 116.
- [14] Perry D.A., Molina R., Amaranthus M.P. Mycorrhizae, mycorrhizospheres, and reforestation: Current knowledge and research needs. *Can. J. For. Res.*, 1987, no. 17, pp. 929–940.

- [15] Keyes M.R., Grier C.C. Above and below net production in 40-year-old- Douglas-fir stands on low and high productivity sites. *Can. J. Res.*, 1981, no. 11, pp. 599–605.
- [16] Kozlowski T.T. Water supply and tree growth. Part I. Water deficits. *For. Abstr.*, 1982, no. 43, pp. 57–95.
- [17] Vasil'ev S.B. *Типы лесных культур на промышленных отвалах Подмосков'я (на примере Егор'евского месторождения фосфоритов)* [Types of forest crops on industrial dumps near Moscow (on the example of the Egor'yevsk phosphate deposit)]. *Dis. Cand. Sci. (Agric.)*. Moscow: MGUL, 2000, 20 p.
- [18] Pleshkov B.P. *Praktikum po biokhīmii rasteniy* [Workshop on plant biochemistry]. Moscow: Agropromizdat, 1985, 255 p.
- [19] Sudachkova N.E., Girs G.I., Prokushkin S.G. *Fiziologiya sosny obyknovnoy* [Physiology of Scots pine]. Novosibirsk: Science, 1990, 248 p.
- [20] Prokushkin S.G. *Mineral'noe pitanie sosny (na kholodnykh pochvakh)* [Mineral nutrition of pine (on cold soils)]. Novosibirsk: Science, 1982, 200 c.
- [21] Chernobrovkina N.P. *Ekofiziologicheskaya kharakteristika ispol'zovaniya azota sosny obyknovnoy* [Ecophysiological characteristic of the use of pine nitrogen]. St. Petersburg: Science, 2001, 175 p.
- [22] Prokushkin S.G., Buzykin A.I. *Mineral'noe pitanie sosnyakov* [Mineral nutrition of pine forests] *Lesa Srednego Priangar'ya* [Forests of the Middle Angara region]. Novosibirsk: Science, 1977, pp. 192–249.

Authors' information

Chernyshenko Oksana Vasil'evna — Dr. Sci. (Biology), Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), tchernychenko@mgul.ac.ru

Vasil'ev Sergey Borisovich — Cand. Sci. (Agriculture), Associated Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), svasilyev@mgul.ac.ru

Received 04.02.2019.

Accepted for publication 24.06.2019.

УДК 630*181:581.52

DOI: 10.18698/2542-1468-2019-5-54-61

РОСТ КУЛЬТУР ЛИСТВЕННИЦЫ ЕВРОПЕЙСКОЙ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ МОСКОВСКОЙ КОЛЬЦЕВОЙ АВТОДОРОГИ (МКАД)

Н.А. Рыбакова, Ю.Б. Глазунов

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

1986620@gmail.com

Показано влияние Московской кольцевой автомобильной дороги (МКАД) на биометрические показатели роста и развития лесных культур лиственницы европейской (*Larix decidua* Mill.): высоту, диаметр ствола, годовичные приросты верхушечных и боковых побегов, площадь и объем кроны, длину и вес хвоинок. Проведены исследования на трех постоянных пробных площадях, расположенных в 15, 35 и 100 м (контроль) от полотна МКАД через 4, 9 и 19 лет после посадки четырехлетних саженцев лиственницы. Выявлено значительное угнетение роста и развития лиственницы по всем биометрическим показателям в первые 4 года после посадки, которое сохранялось и в течение всего периода наблюдений. Установлено, что негативное воздействие автомагистрали на насаждения распространяется на расстояние от нее около 40 м. Тем не менее зафиксировано увеличение среднемноголетнего прироста, что свидетельствует о постепенной адаптации лиственницы европейской к условиям произрастания и благоприятном прогнозе ее роста вблизи автомагистрали.

Ключевые слова: лесные культуры, *Larix decidua* Mill., МКАД, биометрические показатели

Ссылка для цитирования: Рыбакова Н.А., Глазунов Ю.Б. Рост культур лиственницы европейской в зоне влияния Московской кольцевой автодороги (МКАД) // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2019. Т. 23. № 5. С. 54–61. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-5-54-61

Влияние автомагистралей на рост и развитие лесных насаждений — многофакторный процесс, состоящий из воздействия выхлопных газов автомобилей и противогололедных реагентов, содержащих широкую гамму токсических веществ, на растительную среду. Московская кольцевая автомобильная дорога (МКАД) относится к одной из самых загруженных магистралей, интенсивность движения на которой составляет около 9 тыс. автомобилей в час, а в выделяемых выхлопных газах содержится более 500 различных видов загрязняющих веществ [1]. Исследования почвенного покрова в придорожной полосе МКАД показали повышение содержания в нем тяжелых металлов, хлора и подвижной серы, значительное подщелачивание верхних корнеобитаемых горизонтов почвы, изменение катионного состава почвенного поглощающего комплекса, снижение интенсивности минерализации органического вещества и обеднение почвенной фауны [2–5]. Наибольшее загрязнение почвы приходится на полосу 20–25 м от МКАД, однако уже на расстоянии 50 м от нее показатели загрязнения приближаются к контрольным [5]. Наибольшее количество тяжелых металлов обнаружено на расстоянии 7...15 м от края проезжей части, через 25 м снижается вдвое и через 100 м приближается к фоновому показателю [6]. Особую токсичность для растений имеют соединения хлора, серы, азота, фосфора, а также углеводороды и оксиды тяжелых металлов [7–9, 10, 11]. В результате применения хлористых противогололедных реагентов около 80 % всех деревьев вдоль автодорог погибает [12].

Полоса естественных лесных насаждений сосны обыкновенной и березы повислой, расположенных вдоль МКАД, характеризуется значительным ухудшением состояния — понижением бонитета и полноты насаждений, уменьшением размера листьев [9], появлением дефолиации, пожелтением и некрозом хвои, снижением прироста побегов и суховершинностью [13, 14], увеличением интенсивности отмирания побегов, ветвей второго порядка и скелетных ветвей, повышением ажурности кроны [15, 16]. Наибольшее негативное влияние испытывают естественные лесные насаждения в полосе на расстоянии 25–30 м от МКАД [11] и сохраняется вплоть до 60–100 м от дороги [17, 18].

Долговременные мониторинговые работы по изучению влияния автомагистрали на древесные насаждения на постоянных пробных площадях проводятся эпизодически, особенно относительно лесных культур, в том числе лиственницы. Отмечается, что в условиях повышенной техногенной нагрузки на участках, непосредственно примыкающих к автотрассам, интенсивность фотосинтеза в листьях лиственницы до 10 раз, а дыхания в 3–4 раза выше, чем на контрольных участках в 500 м от дороги [19]. Различия сохраняются как в молодых, так и старовозрастных насаждениях. Прирост побегов у лиственницы Сукачева в придорожных полосах снижается более чем в 2 раза [20], при хлоридном отравлении верхушки побегов оголяются, пазушные почки не распускаются, побеги имеют хвоинки с некрозами бурого цвета, отмечена регенерация кроны [17].

В местах сильной загазованности воздуха у лиственницы сибирской сокращается срок жизни хвои, охвоение наступает на 10...15 дней позднее, а опадение на 2–3 недели раньше, чем на объектах со слабым загрязнением почв и околопочвенного воздуха [21].

Лиственница представляет большой интерес для озеленения городов, поскольку характеризуются высокой продуктивностью, морозо- и засухоустойчивостью, обладает высокой газоустойчивостью по сравнению с другими хвойными растениями [22, 23]. Насаждения лиственницы по сравнению с насаждениями березы и сосны поглощают в 2 раза больше диоксида углерода, при этом выделяя больше в 3,5 раза кислорода и в 2 раза фитонцидов [24]. В условиях атмосферного загрязнения у лиственницы усиливается активность приспособительных реакций, отражающих ее пластичность и способность адаптироваться к неблагоприятным экологическим условиям [25]. Некоторые авторы, напротив, приводят данные о чувствительности лиственницы к техногенным нагрузкам [26], в частности ее репродуктивной сферы [27].

Цель работы

Настоящая работа посвящена определению степени долговременного влияния МКАД на рост и развитие лесных культур лиственницы европейской, выявлению зоны негативного воздействия, прогнозу использования лиственницы в условиях техногенного загрязнения.

Методика исследований

Для оценки влияния МКАД на рост и развитие лиственницы европейской (*Larix decidua* Mill.) выбран участок площадью 1,5 га, примыкающий к МКАД в природно-историческом парке «Битцевский лес». На участке с дерново-слабоподзолистыми среднесуглинистыми почвами на покровных суглинках, подстилаемых моренными суглинками, весной 1999 г. на месте пострадавшего от урагана 1998 г. 120-летнего насаждения ели обыкновенной были созданы лесные культуры лиственницы европейской. Посадка лесных культур проводилась четырехлетними саженцами с закрытой корневой системой, полученными в результате семенного размножения. Посадка осуществлялась рядовым методом с расстоянием между рядами 2,5 м, в ряду — 1,0 м, плотность — 4 тыс. шт./га. По границе лесных культур создана живая изгородь из караганы древовидной, которая выполняет защитную функцию, способствуя накоплению снега и токсичных веществ в почве придорожной полосы. Уход за лесными культурами не проводился. В первый год после посадки провели покос травы в междурядьях.

Для исследований заложили три пробные площади (ПП), находящиеся на различном расстоянии от полотна МКАД: ПП-1 — в 15 м, ПП-2 — в 35 м, ПП-3 — в 100 м (контрольный участок). Закладка ПП на большем расстоянии от МКАД невозможна вследствие ограниченных размеров участка лесных культур. Пробные площади размером 450 м² прямоугольной формы, ориентированы параллельно МКАД с запада на восток и представлены тремя рядами деревьев. На ПП проведены учеты в летние сезоны 2003, 2008 и 2018 гг. После окончания роста побегов текущего года определены:

- высота деревьев — с помощью мерного шеста (для деревьев высотой менее 2,0 м) или электронным высотомером;
- высота начала кроны;
- диаметр ствола на высоте 0,1 м (2003) и 1,3 м (2008; 2018);
- диаметр кроны в направлении вдоль и поперек ряда деревьев;
- приросты верхушечного и боковых побегов (2003; 2008) с помощью мерного шеста;
- длина и масса хвои (2003; 2008) — 10 деревьев были срезаны побеги длиной около 10 см в различных частях кроны, с каждого побега отобраны 100 хвоинок, которые высушивались до воздушно-сухой массы и взвешивались на аналитических весах с точностью до 0,001 г;
- приросты ствола по диаметру в 2018 г. — приросты определялись приростным буровом у деревьев среднего диаметра в четырехкратной повторности на высоте 1,3 м.

Кроме того, проведены расчеты протяженности кроны деревьев, ее площади и объема. Материалы статистически обработаны, установлена достоверность различий всех биометрических показателей по *t*-критерию Стьюдента.

Следует отметить, что при движении от опушки в глубь насаждения быстро снижается освещенность, изменяется ветровой и температурный режимы. Безусловно, трудно выявить влияние каждого фактора в отдельности, однако возможно проведение комплексной сравнительной оценки последствий воздействия на насаждение лиственницы европейской широкой гаммы токсических веществ из выхлопных газов, выделяемых автотранспортом, и противогололедных реагентов.

Результаты и обсуждение

В течение 4 лет после посадки лесных культур отпад лиственницы составил 10 %, через 5 лет увеличился до 40 %, еще через 10 — до 86 %. После создания культур в междурядьях появилось естественное возобновление осины, липы мелколистной, клена остролистного, ясеня пушистого, дуба черешчатого. В 23-летнем насаждении уже

Т а б л и ц а 1

**Динамика биометрических показателей деревьев лиственницы европейской
при различном удалении от МКАД**

Biometric indicators dynamics of European larch trees at different distances from MRR

Год учета	Возраст, лет	Номер ПП	Высота, м	Диаметр ствола на высоте, мм		Параметры кроны					Характеристика хвои	
				0,1 м	1,3 м	Диаметр, м			Площадь, м ²	Объем, м ³	Длина хвоинки, мм	Масса 100 хвоинок, мг
						в между-рядье	в ряду	средний				
2003	8	1	2,0±0,25	40,4±1,5	—	—	—	0,54±0,03	0,24±0,03	—	32,6±1,0	16,3±1,3
		2	2,75±0,13	53,0±1,8	—	—	—	0,66±0,06	0,40±0,08	—	33,3±1,5	16,7±1,1
		3	4,66±0,13	83,3±1,5	—	—	—	1,59±0,07	2,04±0,15	—	34,4±0,9	18,7±1,1
2008	13	1	4,26±0,31	—	40,3±4,0	1,21±0,13	1,25±0,08	1,23±0,09	1,34±0,2	—	22,2±1,0	12,5±1,13
		2	4,77±0,20	—	58,2±4,4	1,71±0,11	1,65±0,12	1,7±0,11	2,51±0,29	—	29,0±0,7	14,99±1,35
		3	5,71±0,17	—	77,2±2,4	2,08±0,07	1,93±0,07	2,01±0,06	3,22±0,2	—	32,4±0,7	19,72±1,37
2018	18	1	11,35±0,31	—	129,1±5,4	2,32±0,06	2,27±0,08	2,3±0,08	4,15±0,34	10,03±1,18	—	—
		2	12,42±0,19	—	145,4±5,9	2,51±0,07	2,42±0,08	2,46±0,08	4,75±0,47	10,46±1,12	—	—
		3	11,60±0,30	—	167,5±4,4	3,2±0,11	3,14±0,11	3,17±0,11	7,88±0,60	17,25±1,58	—	—

Т а б л и ц а 2

**Достоверность различий биометрических показателей лиственницы
по *t*-критерию Стьюдента**

Reliability of differences in larch biometrics by Student's *t*-test

Год учета	Возраст, лет	Сравниваемые пары ПП	Высота, м	Диаметр ствола на высоте, мм		Параметры кроны					Характеристика хвои	
				0,1 м	1,3 м	Диаметр, м			Площадь, м ²	Длина хвоинки, мм	Масса 100 хвоинок, мг	
						в между-рядье	в ряду	средний				
2003	8	1–2	0,76	5,38	—	—	—	1,79	1,87	0,39	0,24	
		1–3	9,15	20,22	—	—	—	13,79	11,77	1,34	1,43	
		2–3	10,39	12,93	—	—	—	10,09	9,65	0,63	1,28	
2008	13	1–2	1,38	—	3,01	3,10	2,71	3,31	3,32	5,57	1,41	
		1–3	4,1	—	6,84	6,47	6,21	7,21	6,65	8,36	4,07	
		2–3	3,58	—	2,79	2,88	2,06	2,47	2,02	4,43	2,46	
2018	18	1–2	2,94	—	2,03	2,06	0,0	1,41	1,03	—	—	
		1–3	0,58	—	5,47	7,03	6,75	6,40	5,41	—	—	
		2–3	2,34	—	2,98	5,29	6,75	5,45	4,11	—	—	

Примечание. $t_{0,05} = 2,02$ — максимальное табличное значение *t* при уровне значимости 0,05 для исследуемых выборок с минимальным числом степеней свободы.

хорошо выражены различия в породном составе ПП. Наиболее высокий отпад лиственницы на участке вблизи автотрассы и хорошая боковая освещенность, способствующая росту лиственных пород, привели к формированию на ПП-1 смешанного насаждения состава 7Лц2Ос1Лп + Д, ед. Кл, Яс (Лц — лиственница, Ос — осина, Лп — липа, Д — дуб, Кл — клен, Яс — ясень) с редким подлеском лещины обыкновенной, жимолости обыкновенной, бузины кистистой. Защитная изгородь караганы древовидной достигла высоты 4,1 м при диаметре кроны 3,3 м. В живом напочвенном покрове доминируют сорные виды — борщевик Сосновского и сныть обыкновенная, под их пологом — копытень европейский, майник двулистный, ландыш майский, гравилат речной, герань лесная. Общее проективное покрытие около 90 %. На ПП-2 состав 23-летнего насаждения

9Лц1Ос с единичным подлеском бересклета бородавчатого и жимолости обыкновенной. Высокая сомкнутость полога лиственницы и отсутствие бокового освещения способствовали снижению проективного покрытия живого напочвенного покрова до 5 % (копытень европейский, зеленчук желтый, сныть обыкновенная), накоплению мощной слабоперегнивающей лесной подстилки. На контрольном участке, удаленном от МКАД на 100 м, сформировалось сомкнутое насаждение состава 10Лц с единичным подлеском; напочвенный покров имеет проективное покрытие менее 5 %.

Влияние МКАД негативно отразилось на всех биометрических показателях роста и развития лиственницы европейской (табл. 1). Значительное угнетение роста лиственницы отмечено в первые 4 года после посадки лесных культур и сохранялось на пробных площадях вблизи МКАД

Т а б л и ц а 3

Годичный прирост боковых и верхушечных побегов лиственницы европейской, см

Annual growth of European larch lateral and apical shoots, cm

Возраст, лет	Номер ПП	Прирост боковых побегов в направлениях					Прирост верхушечного побега
		юг	восток	запад	север	в среднем	
8	1	31 ± 2	26 ± 2	21 ± 1	17 ± 1	24 ± 1	43,8 ± 2,0
	2	38 ± 3	31 ± 2	23 ± 2	19 ± 2	28 ± 2	94,0 ± 3,0
	3	46 ± 2	38 ± 1	32 ± 1	26 ± 1	35 ± 1	104,5 ± 4,0
13	1	14 ± 1	16 ± 2	14 ± 1	13 ± 1	14,1 ± 1	23,7 ± 1,9
	2	16 ± 1	15 ± 1	14 ± 2	14 ± 1	15,0 ± 1	31,0 ± 2,1
	3	17 ± 1	17 ± 2	17 ± 2	16 ± 2	16,6 ± 2	35,5 ± 1,6

Т а б л и ц а 4

Различия прироста боковых и верхушечных побегов лиственницы

по *t*-критерию Стьюдента ($t_{0,05} = 2,01$)Differences in the lateral and apical shoots of larch growth according to Student's *t*-test ($t_{0,05} = 2,01$)

Возраст, лет	Сравниваемые пары ПП	Прирост боковых побегов в направлениях					Прирост верхушечного побега
		юг	восток	запад	север	в среднем	
8	1–2	1,94	1,77	0,89	0,89	1,79	13,92
	1–3	5,30	5,37	7,78	6,36	7,78	26,99
	2–3	2,22	3,13	4,02	3,13	3,13	14,1
13	1–2	1,84	0,22	0,27	0,27	0,78	0,64
	1–3	1,06	0,39	1,34	1,34	1,97	1,12
	2–3	0,78	0,72	0,72	0,85	1,48	0,72

в течение всего периода наблюдений. Средняя высота 8-летней лиственницы на ПП-1 в 15 м от МКАД составляет лишь 55 % высоты на контрольном участке, на ПП-2 в 35 м от МКАД — 74 % (см. табл. 1).

Различия по высоте 8-летней лиственницы на всех ПП достоверны по *t*-критерию Стьюдента при уровне значимости 0,05 (табл. 2). При увеличении возраста лиственницы различия в высоте между ПП сокращаются. У 13-летних деревьев высота на ПП-1 составляет 74 % относительно контрольного участка, на ПП-2 — 84 %, у 23-летних соответственно 90 и 98 %. Отсутствие статистически достоверных различий между ПП-1 и ПП-2 свидетельствует о негативном влиянии МКАД на рост лиственницы в полосе насаждения шириной около 40 м, примыкающей к МКАД.

Рассчитанный по периодам наблюдений средний многолетний прирост лиственницы подтверждает, что наибольшее влияние МКАД на ее рост проявляется в первые годы после создания лесных культур. Большие приросты в период 2008–2018 гг. (0,69...0,66 м в год) по сравнению с 2003–2008 гг. (0,40...0,45 м) свидетельствуют о постепенной адаптации лиственницы к условиям роста.

При первом и втором учете роста лиственницы были проведены замеры годичного прироста верхушечного и боковых побегов (табл. 3).

Приросты верхушечного побега 8-летней лиственницы достигают максимальной величины

на контрольном участке (104,5 см), снижаясь на ПП-1 вблизи МКАД на 58 %. Различия достоверны по *t*-критерию Стьюдента (табл. 4). У 13-летней лиственницы приросты верхушечного побега значительно ниже (23,7...35,5 см) и различия между всеми ПП по *t*-критерию недостоверны. Подобная закономерность наблюдается у боковых побегов. Средние приросты у 8-летней лиственницы (24...35 см) значительно меньше, чем у 13-летней (14...17 см) и снижаются по мере приближения к МКАД. Сокращение прироста годичного побега можно рассматривать как адаптивную реакцию деревьев к неблагоприятным факторам среды [19].

Анализ прироста боковых побегов по сторонам света показал, что у 8-летней лиственницы прирост в направлении на юг превышает прирост в направлении на север в 1,8–2,0 раза, и эти различия достоверны по *t*-критерию Стьюдента. Боковой прирост в направлении на восток лишь в 1,2–1,3 раза превышает прирост в направлении на запад и статистически недостоверен. Анализ различий бокового прироста в ряду и между рядами у лиственниц 8 и 13 лет показал их недостоверность по *t*-критерию Стьюдента.

Различия в росте лиственницы европейской на различном расстоянии от МКАД хорошо отражает динамика диаметра ствола (см. табл. 1). Достоверные различия между пробными площадями по диаметру ствола сохраняются в течение всего

периода наблюдений (см. табл. 2). Наибольшие различия отмечаются у 8-летней лиственницы, когда диаметр ствола на высоте 0,1 м на ПП-3 в 2,1 раза, на ПП-2 — в 1,3 раза больше, чем на ПП-1. По мере увеличения возраста лиственницы различия сглаживаются и статистически достоверны. На ПП-1 и ПП-2 отмечается более высокий коэффициент вариации по диаметру стволов (27...28 %), чем на ПП-3 (15 %), что связано с разнообразием условий освещенности на этих участках.

Негативное влияние автомагистрали отразилось на параметрах хвои лиственницы — длине и массе хвоинок (см. табл. 1). Однако у 8-летней лиственницы различия в длине хвоинок на ПП-1 и ПП-2 по сравнению с контрольным участком невелики и статистически недостоверны (см. табл. 2). При увеличении возраста лиственницы различия между ПП по длине хвоинок увеличиваются, и у 13-летней лиственницы являются достоверными. Такие же закономерности отмечены и по воздушно-сухой массе хвоинок. Подобная закономерность также свидетельствует о постепенной адаптации лиственницы к произрастанию в условиях загрязнения.

За период наблюдений существенно увеличились отличия в параметрах кроны деревьев лиственницы на ПП вблизи автотрассы и на контрольном участке (см. табл. 1). При увеличении возраста лиственницы различия в площади горизонтальной проекции кроны усиливаются и достоверно отличаются от контрольного участка (см. табл. 2). Объем кроны деревьев 23-летней лиственницы также достоверно различается между ПП вблизи автотрассы и на контрольном участке. Негативное влияние МКАД проявляется на расстоянии около 40 м от нее, так как достоверные различия в параметрах кроны на ПП-1 и ПП-2 отсутствуют. Несмотря на существенные различия в морфометрии кроны на ПП, отметим удовлетворительное состояние лесных культур лиственницы европейской, произрастающих вблизи МКАД.

Выводы

В наибольшей степени неблагоприятное влияние МКАД на рост культур лиственницы европейской проявилось в первые 4 года после создания лесных культур. Негативное воздействие автомагистрали на насаждение лиственницы сохраняется в течение 15-летнего периода наблюдений и распространяется на расстояние около 40 м от МКАД. Биометрические показатели лиственницы европейской в условиях влияния автомобильных выбросов и противогололедных реагентов изменяются в зависимости от расстояния от МКАД. На участках лесных культур, примыкающих к автомагистрали, у деревьев лиственницы снижается

высота, уменьшается диаметр ствола, годовые приросты верхушечных и боковых побегов, параметры кроны. Постепенное возрастание среднего многолетнего прироста с увеличением возраста лиственницы свидетельствует о ее адаптации к условиям произрастания вблизи такой крупной автомагистрали, как МКАД, и возможности ее использования в посадках вблизи автодорог и городском озеленении.

Список литературы

- [1] Самойлов А.И. Итоги реконструкции МКАД и режим ее содержания // Науч. тр. МГУЛ. Экология, мониторинг и рациональное природопользование, 2011. Вып. 307(1). С. 163–166.
- [2] Воробьев М.А., Вьюкова О.Б., Козлова О.И. Загрязнение почв Московской области тяжелыми металлами // Тр. Мос ЦЦГНС, 1990. Вып. 2. С. 59–70.
- [3] Королев В.А., Соколов В.Н., Самарин Е.Н. Оценка эколого-геологических последствий применения антигололедных реагентов в г. Москве // Инженерная геология, 2009. № 1. С. 34–43.
- [4] Лысиков А.Б. Динамика загрязнения почв сосновых насаждений в зоне Московской кольцевой автодороги // Лесоведение, 2005. № 5. С. 18–24.
- [5] Лысиков А.Б. Влияние противогололедных реагентов на состояние почвы придорожных сосняков Серебрянборского опытного лесничества // Лесоведение, 2017. № 6. С. 446–451.
- [6] Зеркалов Д.В. Экологическая безопасность. Киев: Основа, 2009. 513 с.
- [7] Николаевский В.С. Экологическая оценка загрязнения среды и состояния наземных экосистем методами фитоиндикации. М.: МГУЛ, 1999. 193 с.
- [8] Кочарян К.С. Рост и развитие деревьев в уличных насаждениях Москвы // Доклады ТСХА, 2004. Вып. 276. С. 271–273.
- [9] Кузнецов И.В., Кораблев Р.А., Зеликов В.А. Влияние автомобильных выбросов на насаждения сосны обыкновенной и березы повислой // Проблемы и перспективы лесного комплекса: Материалы Межвуз. науч.-практ. конф. (Воронеж, ВГЛТА, 26–27 мая 2005 г.). Воронеж: Воронежская гос. лесотехн. акад., 2005. Т. 1. С. 223–224.
- [10] Einfluss von Luftverunreinigungen auf die Vegetation. Ursachen-Wirkungen-Gegenmassnahmen. Jena: Fischer., 1991, 266 p.
- [11] Lamerdorf N.P., Godbold D.L., Knoche D. Risk assessment of some heavy metals for the growth of Norway spruce // Water, Air, and soil Pollution, 1991, v. 57–58, pp. 809–818.
- [12] Steubing L., Kirschbaum U. Emmissionsbelastung der Strabentang-vegetation // Natur und Landsch, 1976, v. 51, no. 9, pp. 239–244.
- [13] Абатуров А.В. Влияние Московской кольцевой автодороги (МКАД) на состояние лесных насаждений в придорожной полосе // Юбил. сб. докл. науч.-практ. конф. «Мониторинг состояния природно-культурных комплексов Подмосковья», Москва, ПИЗЛ «Горки» (8–9 сентября 1999 г.) / Ред. Л.А. Агудина. М.: ПИЗЛ «Горки», 2000. С. 132–136.
- [14] Меланхолин П.Н., Лысиков А.Б. Изменения лесной растительности и почвы под влиянием Московской кольцевой автодороги // Лесоведение, 2002. № 4. С. 53–60.
- [15] Липаткин В.А., Шарапа Т.В., Щербаков А.Н. Результаты изучения состояния насаждений НП «Лосинный остров», граничащих с МКАД // Науч. тр. МГУЛ, 2001. Вып. 307(1). С. 156–162.

- [16] Полякова Г.А., Гутников В.А. Парки Москвы: экология и флористическая характеристика. М.: ГЕОС, 2000. 405 с.
- [17] Мозолевская Е.Г., Шарапа Т.В., Липаткин В.А., Беднова О.В., Галасьева Т.В., Рысин С.Л. Динамика состояния насаждений лесов по границам МКАД по результатам мониторинга // Экология большого города, 2003. Вып. 8. С. 23–32.
- [18] Савельева Л.И. О влиянии техногенного загрязнения на лесные сообщества // Совещание «Леса Русской равнины»: тез. докл. М.: Наука, 1993. С. 184–186.
- [19] Автухович И.Е. Влияние антропогенных нагрузок на состояние лиственницы и каштана в условиях города // Изучение влияния тяжелых металлов на рост деревьев в условиях г. Москвы. Науч. тр. МГУЛ, 2002. Вып. 303. С. 106–111.
- [20] Бурков В.Н., Моисеева Л.В., Горбова Н.Г. Влияние противогололедных солей на древесные растения // Сб. науч. тр.: «Техногенные воздействия на лесные сообщества и проблемы их восстановления и сохранения» / Под ред. А.К. Махнева, Е.В. Колтунова. Екатеринбург: Наука, 1992. С. 28–35.
- [21] Герасимов А.О., Жигунов А.В. Устойчивость хвойных в уличных посадках Санкт-Петербурга // Материалы Междунар. конф. молодых ученых «Леса Евразии – Белые ночи». М.: МГУЛ, 2003. С. 17–18.
- [22] Кулагин Ю.З. Древесные растения и промышленная среда. М.: Наука, 1997. 125 с.
- [23] Романова Л.И. Структурно-функциональные особенности лиственницы сибирской в городских насаждениях г. Красноярска и его окрестностях: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Красноярск: Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 2005. 24 с.
- [24] Авдеева Е.В. Анализ роста древесных растений в условиях городской среды: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук 06.03.01. Красноярск: Государственная техническая академия, 1994. 19 с.
- [25] Афанасьева Л.В. Физиолого-биохимическая адаптация лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.) к условиям городской среды // Сибирский лесной журнал, 2018. № 3. С. 21–29.
- [26] Кузмичев В.В., Авдеева Е.В. Реакция лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.) на техногенные воздействия городской среды // Хвойные бореальные леса, 2007. Вып. XXIV. № 1. С. 36–42.
- [27] Карасева М.А. Влияние атмосферного загрязнения на семеношение лиственницы сибирской // Жизнь популяций в гетерогенной среде. Кн. 2. Йошкар-Ола: Периодика Мариэл, 1998. С. 160–161.

Сведения об авторах

Рыбакова Наталья Алексеевна — канд. с.-х наук, ст. науч. сотр. лаборатории лесоводства и биологической продуктивности ФГБУН «Институт лесоведения РАН», 1986620@gmail.com

Глазунов Юрий Борисович — канд. с.-х наук, зав. лабораторией лесоводства и биологической продуктивности ФГБУН «Институт лесоведения РАН», root@ilan.ras.ru

Поступила в редакцию 15.03.2019.

Принята к публикации 23.08.2019.

GROWTH OF LARIX DECIDUA FOREST CULTURE IN INFLUENCED BY MOSCOW RING ROAD

N.A. Rybakova, Yu.B. Glazunov

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

1986620@gmail.com

The influence of automobile emissions and anti-icing agents on the growth of *Larix decidua* Mill. forest cultures, created in 1998 in the immediate vicinity of the Moscow ring road, was studied. The investigations were carried out on three permanent trial plots located in 15, 35 and 100 m (control) from the Moscow ring road in 4, 9 and 19 years after planting of forest culture. The height, diameter of the trunk, the annual growths of the apical and lateral shoots, the area and volume of the trees crown, the length and weight of the needles were taken into account. Significant inhibition of larch growth near the Moscow ring road was found in the first 4 years after planting of forest crops and remained during the entire period of observations. The negative impact of the highway on the planting extends to a distance of about 40 m. The increase in average annual growth with age indicates a gradual adaptation of *Larix decidua* to growing conditions and a favorable forecast of its growth near the road.

Keywords: *Larix decidua* Mill., forest cultures, Moscow ring road, biometric indicators

Suggested citation: Rybakova N.A., Glazunov Yu.B. *Rost kul'tur listvenitsy evropeyskoy v zone vliyaniya Moskovskoy kol'tsevoy avtodorogi (MKAD)* [Growth of *Larix decidua* forest culture in influenced by Moscow ring road]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2019, vol. 23, no. 5, pp. 54–61. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-5-54-61

References

- [1] Samoylov A.I. *Itogi rekonstruktsii MKAD i rezhim ee soderzhaniya* [Results of the reconstruction of the Moscow Ring Road and its maintenance mode] *Nauchnye trudy MGUL. Ekologiya, monitoring i ratsional'noe prirodopol'zovanie* [Scientific works of MGUL. Ecology, monitoring and environmental management], 2011, v. 307 (1), pp. 163–166.
- [2] Vorob'ev M.A., V'yukova O.B., Kozlova O.I. *Zagryaznenie pochv Moskovskoy oblasti tyazhelymi metallami* [Soil Pollution of the Moscow Region with Heavy Metals]. *Tr. Mos TsTsGNS* [Proc. Mos TsCGNS], 1990, v. 2, pp. 59–70.
- [3] Korolev V.A., Sokolov V.N., Samarin E.N. *Otsenka ekologo-geologicheskikh posledstviy primeneniya antigolelednykh reagentov v g. Moskve* [Evaluation of the ecological and geological consequences of the use of anti-icing agents in Moscow] *Inzhenernaya geologiya* [Engineering Geology], 2009, no. 1, pp. 34–43.
- [4] Lysikov A.B. *Dinamika zagryazneniya pochv sosnovykh nasazhdeniy v zone Moskovskoy kol'tsevoy avtodorogi* [Dynamics of soil pollution of pine plantations in the Moscow ring road area] *Lesovedenie* [Forest Science], 2005, no. 5, pp. 18–24.
- [5] Lysikov A.B. *Vliyaniye protivogolelednykh reagentov na sostoyaniye pochvy pridorozhnykh sosnyakov Serebryanoborskogo opytного lesnichestva* [Influence of anti-icing agents on the soil condition of roadside pine forests of Serebryanoborsky experimental forestry] *Lesovedenie* [Forest Science], 2017, no. 6, pp. 446–451.
- [6] Zerkalov D.V. *Ekologicheskaya bezopasnost'* [Environmental Safety]. Kiev: Osnova, 2009, 513 p.
- [7] Nikolaevskiy V.S. *Ekologicheskaya otsenka zagryazneniya sredi i sostoyaniya nazemnykh ekosistem metodami fitoindikatsii* [Ecological assessment of environmental pollution and the state of terrestrial ecosystems using phytoindication]. Moscow: MGUL, 1999, 193 p.
- [8] Kocharyan K.S. *Rost i razvitiye derev'ev v ulichnykh nasazhdeniyakh Moskvy* [Growth and development of trees in street plantations in Moscow] *Doklady TSKhA* [Reports of the TAA], 2004, v. 276, pp. 271–273.
- [9] Kuznetsov I.V., Korablev R.A., Zelikov V.A. *Vliyaniye avtomobil'nykh vybrosov na nasazhdeniya sosny obyknovennoy i berezy povisloy* [Influence of automobile emissions on plantations of Scots pine and silver birch] *Problemy i perspektivy lesnogo kompleksa: materialy Mezhdvuzovskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Problems and prospects of the forest complex: materials of the Interuniversity Scientific and Practical Conference] *Voronezh, VGLTA*, May 26–27, 2005. Voronezh: Voronezh State forestry Acad., 2005, t. 1, pp. 223–224.
- [10] Einfluss von Luftverunreinigungen auf die Vegetation. Ursachen-Wirkungen-Gegenmassnahmen. Jena: Fischer., 1991, 266 p.
- [11] Lamerdorf N.P., Godbold D.L., Knoche D. Risk assessment of some heavy metals for the growth of Norway spruce. *Water, Air, and soil Pollution*, 1991, v. 57–58, pp. 809–818.
- [12] Steubing L., Kirschbaum U. *Emmissionsbelastung der Strabentang-vegetation* // *Natur und Landsch*, 1976, v. 51, no. 9, pp. 239–244.
- [13] Abaturov A.V. *Vliyaniye Moskovskoy kol'tsevoy avtodorogi (MKAD) na sostoyaniye lesnykh nasazhdeniy v pridorozhnoy polose* [Influence of the Moscow Ring Road (MKAD) on the state of forest plantations in the roadside] *Yubileynyy sbornik dokladov nauchno-prakticheskoy konferentsii «Monitoring sostoyaniya prirodno-kul'turnykh kompleksov Podmoskov'ya»*, Moskva, PIZL «Gorki» 8–9 sentyabrya 1999 g. [Jubilee collection of reports of the scientific-practical conference «Monitoring the state of natural and cultural complexes in the Moscow region»], Moscow, LLP «Gorki» September 8–9, 1999. Ed. L.A. Agudina. Moscow: PIZL «Gorki», 2000, pp. 132–136.
- [14] Melankholin P.N., Lysikov A.B. *Izmeneniya lesnoy rastitel'nosti i pochvy pod vliyaniem Moskovskoy kol'tsevoy avtodorogi* [Changes in forest vegetation and soil under the influence of the Moscow ring road] *Lesovedenie* [Forest Science], 2002, no. 4, pp. 53–60.
- [15] Lipatkin V.A., Sharapa T.V., Shcherbakov A.N. *Rezul'taty izucheniya sostoyaniya nasazhdeniy NP «Losinyy ostrov», grani-chashchikh s MKAD* [The results of the study of the status of plantations NP «Elk Island», bordering the Moscow Ring Road] *Nauchnye trudy MGUL* [Scientific Works MGU], 2001, v. 307 (1), pp. 156–162.
- [16] Polyakova G.A., Gutnikov V.A. *Parki Moskvy: ekologiya i floristicheskaya kharakteristika* [Parks of Moscow: ecology and floristic characteristics]. Moscow: GEOS, 2000, 405 p.

- [17] Mozolevskaya E.G., Sharapa T.V., Lipatkin V.A., Bednova O.V., Galas'eva T.V., Rysin S.L. *Dinamika sostoyaniya nasazhdeniy lesov po granitsam MKAD po rezul'tatam monitoringa* [Dynamics of the state of forest plantations along the borders of the Moscow Ring Road according to the results of monitoring] *Ekologiya bol'shogo goroda* [Ecology of a big city], 2003, v. 8, pp. 23–32.
- [18] Savel'eva L.I. *O vliyaniy tekhnogennoy zagryazneniya na lesnye soobshchestva. Soveshchanie «Lesy Russkoy ravniny». Tezisy dokladov* [On the impact of technogenic pollution on forest communities. Meeting «Forests of the Russian Plain». Theses of reports]. Moscow: Nauka, 1993, pp. 184–186.
- [19] Avtukhovich I.E. *Vliyaniye antropogennykh nagruzok na sostoyaniye listvennitsy i kashтана v usloviyakh goroda* [The influence of anthropogenic pressures on the state of larch and chestnut in city conditions]. *Izuchenie vliyaniya tyazhelykh metallov na rost derev'ev v usloviyakh g. Moskvy. Nauchnye trudy MGUL* [Study of the influence of heavy metals on the growth of trees in Moscow. Scientific Works MGUL], 2002, iss. 303, pp. 106–111.
- [20] Burkov V.N., Moiseeva L.V., Gorbova N.G. *Vliyaniye protivogololeznykh soley na drevesnye rasteniya* [Effect of anti-icing salts on woody plants]. *Sb. nauchnykh trudov: «Tekhnogennyye vozdeystviya na lesnye soobshchestva i problemy ikh vosstanovleniya i sokhraneniya»* [Coll. scientific papers: «Technogenic Impacts on Forest Communities and the Problems of their Restoration and Conservation»]. Ed. A.K. Makhnev, E.V. Koltunov. Ekaterinburg: Science, 1992, pp. 28–35.
- [21] Gerasimov A.O., Zhigunov A.V. *Ustoychivost' khvoynykh v ulichnykh posadkakh Sankt-Peterburga* [Resistance of conifers in street plantings of St. Petersburg]. *Materialy Mezhdunarodnoy konferentsii molodykh uchennykh «Lesy Evrazii – Belye nochi»* [Materials of the International Conference of Young Scientists «Forests of Eurasia – White Nights»]. Moscow: MGUL, 2003, pp. 17–18.
- [22] Kulagin Yu.Z. *Drevesnye rasteniya i promyshlennaya sreda* [Woody plants and industrial environment]. Moscow: Nauka [Science], 1997, 125 p.
- [23] Romanova L.I. *Strukturno-funktional'nye osobennosti listvennitsy sibirskoy v gorodskikh nasazhdeniyakh g. Krasnoyarska i ego okrestnostyakh: Avtoref. dis. ... kand. biol. nauk* [Structural and functional features of Siberian larch in urban areas of Krasnoyarsk and its surroundings: Author. dis. ... Cand. biol. sciences]. Krasnoyarsk: Forest Institute them V.N. Sukachev SB RAS, 2005, 24 p.
- [24] Avdeeva E.V. *Analiz rosta drevesnykh rasteniy v usloviyakh gorodskoy sredy: Avtoref. dis. ... kand. s.-kh. nauk* [Analysis of the growth of woody plants in the urban environment: Author's abstract. diss. ... Cand. Sci. (Agric.)]. Krasnoyarsk: Gosudarstvennaya tekhnicheskaya akademiya, 1994, 19 p.
- [25] Afanas'eva L.V. *Fiziologo-biokhimitskaya adaptatsiya listvennitsy sibirskoy (Larix sibirica Ledeb.) k usloviyam gorodskoy sredy* [Physiological and biochemical adaptation of Siberian larch (*Larix sibirica* Ledeb.) to the conditions of the urban environment] *Sibirskiy lesnoy zhurnal* [Siberian Forest Journal], 2018, no. 3, pp. 21–29.
- [26] Kuzmichev V.V., Avdeeva E.V. *Reaktsiya listvennitsy sibirskoy (Larix sibirica Ledeb.) na tekhnogennyye vozdeystviya gorodskoy sredy* [The reaction of Siberian larch (*Larix sibirica* Ledeb.) on the anthropogenic impact of the urban environment] *Khvoynyye boreal'nye lesa* [Coniferous boreal forests], 2007, iss. XXIV, no. 1, pp. 36–42.
- [27] Karaseva M.A. *Vliyaniye atmosfernogo zagryazneniya na semenosheniye listvennitsy sibirskoy* [Influence of atmospheric pollution on seed production of Siberian larch] *Zhizn' populyatsiy v geterogennoy среде* [Life of populations in a heterogeneous environment]. Yoshkar-Ola: Periodika Mariel, 1998, pp. 160–161.

Authors' information

Rybakova Natal'ya Alekseevna — Cand. Sci (Agriculture), Institute of Forest Science Russian Academy of Sciences, 1986620@gmail.com

Glazunov Yuriy Borisovich — Cand. Sci (Agriculture), Head of the laboratory of Forestry and biological productivity of the Institute of Forest Science Russian Academy of Sciences, root@ilan.ras.ru

Received 15.03.2019.

Accepted for publication 23.08.2019.

УДК 631.8; 631.4

DOI: 10.18698/2542-1468-2019-5-62-70

АЛЛЕЛОТОКСИНЫ В ПОЧВАХ И СТИМУЛЯЦИЯ РАЗВИТИЯ СЕМЯН**Г.Н. Федотов^{1, 2}, В.С. Шалаев², Ю.П. Батырев²**¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, 119991, г. Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, стр. 12, Факультет почвоведения, МГУ²МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

gennadiy.fedotov@gmail.com

Изучено влияние обработки семян зерновых культур растворами, содержащими биологические фунгициды, сорбенты, многозарядные катионы и гуминовые препараты, на развитие семян и их проростков в песке и на различных почвах. Проведенные эксперименты подтверждают предположение о том, что стимуляция развития семян различными препаратами состоит в их защите от ингибирующего действия аллелотоксинов. Об этом свидетельствует стимулирующее влияние некоторых твердых сорбентов, а также данные, показывающие, что освобождения активных центров гуматов приводит к повышению эффективности их использования. С этих позиций хорошо объясняется различная стимуляция гуматами семян, прорастающих на песке и в почвах. В связи с практически полным отсутствием почв без аллелотоксинов, в основе разработки препаратов-стимуляторов развития семян должна лежать их защита от почвенных аллелотоксинов.

Ключевые слова: аллелопатия, токсикоз почв, ингибирование почвами развития семян, сорбенты, микроорганизмы

Ссылка для цитирования: Федотов Г.Н., Шалаев В.С., Батырев Ю.П. Аллелотоксины в почвах и стимуляция развития семян // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2019. Т. 23. № 5. С. 62–70.

DOI: 10.18698/2542-1468-2019-5-62-70

Поиск стимулирующих воздействий и стимуляторов прорастания семян, способных повышать их посевные качества [1–6] проводили параллельно с изучением ответной реакции на эти воздействия. Эксперименты очень часто ставили, проращивая обработанные тем или иным способом семена на инертных субстратах — фильтровальной бумаге или песке. При наблюдаемом в этих условиях ускорении их развития, считали, что препарат или воздействие — эффективны и могут применяться в сельском хозяйстве.

Несомненно, почвы оказывают большое влияние на стимуляцию, так как семена активно с ней взаимодействуют, выделяя в почву вещества [4], которые служат питанием для почвенных микроорганизмов и обуславливают их бурное развитие в прилегающих к семенам областях почвы [7]. Кроме того, из почв в семена поступают вырабатываемые микроорганизмами или закрепленные в почвах биологически активные вещества (БАВ): витамины, антибиотики, растительные гормоны и т. д. [8]. В результате действие стимуляторов на развитие семян реализуется в условиях параллельно идущих процессов поступления из почв в семена витаминов, фитогормонов, кофакторов ферментов, других необходимых семенам БАВ, а также аллелотоксинов, ингибирующих прорастание семян и дальнейшее развитие из них растений [8–12]. Причем поступление в семена из почв аллелотоксинов — не частный случай, а широко распространенное явление [8–10], как показали многочисленные исследования.

В частности, в работе [13] представлены результаты изучения прорастания и развития семян

в почвах по сравнению с промытым песком, не содержащим аллелотоксинов. Было проведено сравнение прорастания семян в разных субстратах с влажностью, при которой процессы развития семян в каждом из них протекали с максимальной скоростью, показавшее, что дерново-подзолистая, серая лесная, каштановая почвы и чернозем ингибируют прорастание семян и развитие их проростков, по сравнению с песком, причем величина ингибирования нередко достигала 50...80% [13].

При разработке стимуляторов значение содержащихся в почвах аллелотоксинов в большинстве случаев не учитывали, а основное внимание уделяли использованию в качестве стимуляторов необходимых для прорастания семян и развития из них растений БАВ — витаминов, фитогормонов, кофакторов ферментов и др. Подобный подход позволял в некоторых случаях повысить скорость развития семян на инертных субстратах, по-видимому, в тех случаях, когда используемые в качестве стимуляторов БАВ лимитировали прорастание семян и рост их проростков.

Таким образом, по имеющимся литературным данным можно предположить, что стимуляция, применяемая в условиях реальных почв, представляет собой ускорение процессов роста при действии на семена почвенных аллелотоксинов.

Учет наличия аллелотоксикоза почв позволяет оценить проблему с несколько иных позиций: воспринимаемая нами при проведении экспериментов «стимуляция» может во многих случаях являться снижением ингибирования развития семян вследствие уменьшения поступления аллелотоксинов из почв в семена.

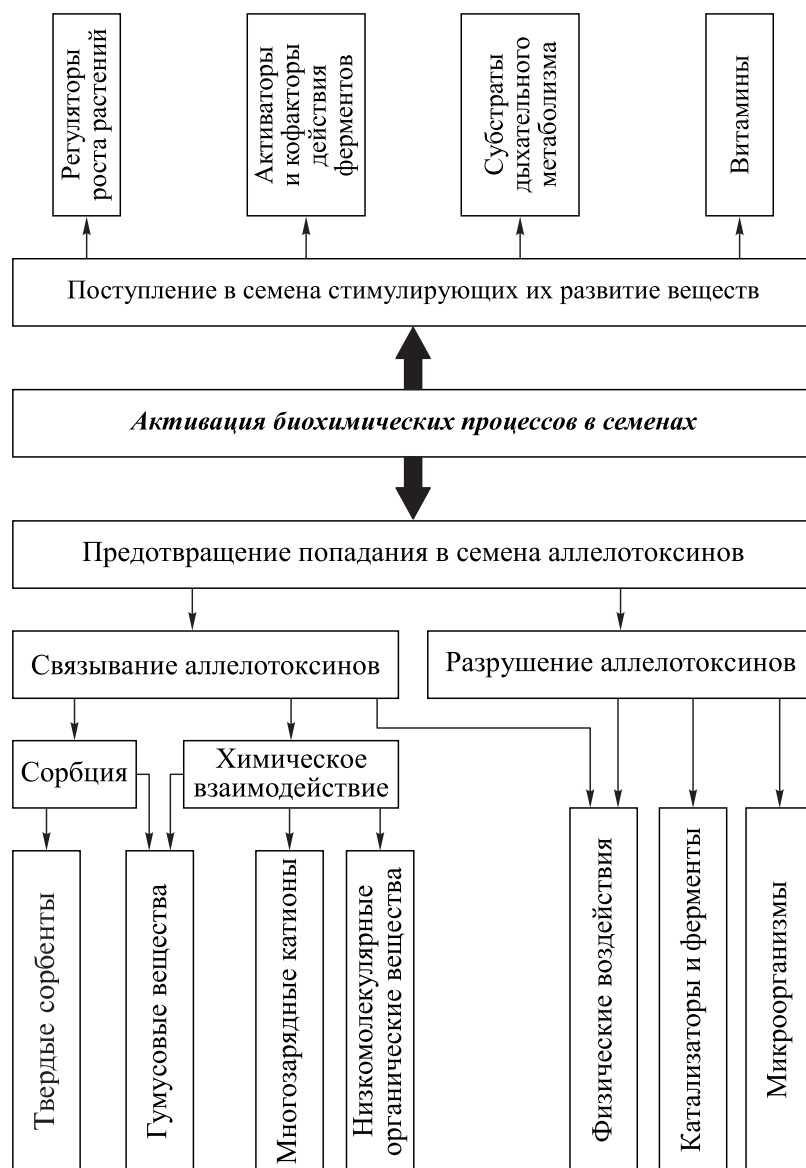


Схема возможных подходов к стимуляции семян, учитывающая наличие фитотоксинов в почвах и семенах
 Scheme of possible approaches to seed stimulation, taking into account the presence of phytotoxins in soils and seeds

Весь комплекс приемов, применявшихся для стимуляции биохимических процессов в семенах ранее [2, 4], и тех, которые могут появиться при рассмотрении вопроса с позиций возможности существования стимуляции в результате снятия ингибирования прорастания семян аллелотоксинами почв, изображен на схеме. Из нее следует, что кроме приемов прямого ускорения биохимических реакций в семенах за счет поступления в них регуляторов роста растений, витаминов, субстратов дыхательного метаболизма, активаторов и кофакторов ферментов для стимуляции развития семян следует рассмотреть приемы, снижающие попадание аллелотоксинов в семена из почв. В частности, задачу предотвращения

ингибирующего действия аллелотоксинов можно решать, разрушая или связывая их с помощью сорбентов, многозарядных катионов, физических воздействий или микроорганизмов, которые будут разрушать аллелотоксины, используя их для питания [10, 14–17].

С общих позиций возможность стимуляции благодаря снижению влияния токсикоза почв не вызывает сомнений, однако прямые эксперименты, доказывающие эту возможность, не были проведены.

Цель работы

Цель работы — проверка предположения о возможности стимуляции прорастания семян и

ускорения развития из них растений из-за снижения негативного влияния на семена аллелотоксинов почв.

Объекты и методы

Исследования проводили на семенах яровой пшеницы (*Triticum*) сорта Лиза, озимой пшеницы (*Triticum*) сорта Безенчукская 380, озимого тритикале (*Triticosecale*) сорта Немчиновский 56, ярового ячменя (*Hordeum*) сортов Раушан и озимой ржи (*Secale cereale*) сорта Татьяна.

В работе использовали: сухой отмытый речной песок с размером частиц 0,5...0,8 мм; образцы дерново-подзолистой почвы из окрестностей поймы р. Яхрома влажностью 18,1 % (после зерновых); образцы серой лесной почвы из Тульской обл. (Щекинский район) влажностью 21,6 % (после зерновых); образцы чернозема типичного из Липецкой обл. (Данковский район) влажностью 33,1 % (после картофеля).

В качестве стимуляторов использовали растворы следующих микробиологических фунгицидов:

– Фитоспорин-М — препарат на основе бактерий «*Bacillus subtilis*» штамм 26 Д, производство компании «БашИнком», Россия, (100 г/л);

– Алирин-Б — препарат на основе бактерий «*Bacillus subtilis*» штамм В-10 ВИЗР, производство ООО «АгроБиоТехнологии», Россия, (20 г/л);

– Гамаир — препарат на основе бактерий «*Bacillus subtilis*» штамм М-22 ВИЗР, производство ООО «АгроБиоТехнологии», Россия, (20 г/л);

– Глиокладин — препарат на основе бактерий «*Bacillus subtilis*» штамм ВИЗР-18, производство ООО «АгроБиоТехнологии», Россия, (20 г/л).

Также проверяли действие твердых сорбентов:

– силикагель ЛС для тонкослойной хроматографии, Chemapol, Praha, (8 г на 1 кг семян);

– оксид алюминия, ХЧ, (по ТУ 6-09-973-71), Донецкий завод химреактивов, (8 г на 1 кг семян);

– Инертон АW, носитель для газовой хроматографии, Chemapol, Praha, (8 г на 1 кг семян);

– Полисорб МП, энтеросорбент (коллоидный диоксид кремния), производство АО «Полисорб», Россия, (8 г на 1 кг семян);

– Фильтрум-сти (лигнин гидролизный), производство АО «АВВА РУС», Россия, (8 г на 1 кг семян);

– активированный уголь, БАУ-А, производство ООО «Галекс Групп», Россия, (8 г на 1 кг семян).

Обработку семян проводили твердыми сорбентами, находящимися в порошкообразном состоянии. Расход препаратов был выбран на основе способности семян удерживать порошок на своей поверхности.

Применяли для проверки стимулирующего действия гумат калия (натрия), произведенный ООО НВЦ «Агротехнологии» (Россия) из бурого угля, при концентрации раствора 10 г/л. Использо-

вали как исходный гумат, так и препарат, который получили, пытаясь активировать исходный гумат путем освобождения его активных центров. Для этого исходный гумат помещали в гептан в соотношении 1:100 (гумат : гептан) и кипятили в течение 1 ч. Затем полученные активированные гуматы отфильтровывали, сушили и использовали их растворы для проведения экспериментов.

Для обработки семян использовали также растворы, содержащие многозарядные катионы цинка и кальция.

Все обработки семян проводили полусухим способом при расходе растворов 20 л на 1 т семян. Для этого 50 г семян помещали в пластиковую лодочку размером 20×7 см, глубиной 4 см, добавляли навеску суспензии стимулятора 1 г и тщательно перемешивали примерно 1 мин до достижения равномерной окраски семян.

Было изучено влияние обработки семян различными стимуляторами на развитие семян в песке и почвах на основе изменения интегральной длины проростков 7,5 г семян (~200 шт.). Интегральную длину проростков определяли, используя экспресс-метод, основанный на существовании линейной зависимости между насыпным объемом проросших семян в воде и длиной их проростков [13]. Опыты проводили при указанных в работе условиях [13]. Проросшие в почве или песке семена отмывали от субстрата и помещали порциями в мерный цилиндр объемом 100 мл с водой, размещенный на вибростол, колеблющемся с частотой 50 Гц. После внесения в цилиндр каждой порции проросших семян, которые создавали ажурную пористую структуру, на них на 15–20 с помещали небольшой грузик массой 8 г в виде резиновой пробки, что приводило к уплотнению структуры. После помещения в цилиндр всех проросших семян на них клали грузик и проводили дополнительное уплотнение структуры легкими постукиваниями (30–40) цилиндра с семенами о стол. Эти операции позволяли создать достаточно однородную структуру, а нижняя граница груза позволяла определять насыпной объем с точностью до 0,5 мл.

При проведении экспериментов по проращиванию семян на дно чашки диаметром 95 мм помещали 30 г почвы или песка, затем ровным слоем размещали 7,5 г семян, а сверху — 30 г почвы или песка соответственно. После этого в чашку равномерно из мерной пипетки добавляли воду.

Использовали шестикратную повторность с последующей статистической обработкой результатов. В связи с использованием в одном опыте 1000–1200 семян удавалось минимизировать ошибку, связанную с разнокачественностью семян [4]. В результате ошибка опыта не превышала 7 % при 95%-м уровне значимости.

Т а б л и ц а 1

Влияние предпосевной обработки семян зерновых культур препаратами, содержащими микроорганизмы, на их прорастание и развитие проростков в различных субстратах
The pretreatment effect of grain seeds with stuff containing microorganisms on their germination and development of seedlings in various substrates

Культура, сорт	Субстрат	Препарат	Эффект, %
Тритикале, сорт Немчиновский 56	Песок	Фитоспорин-М	-7
	Дерново-подзолистая почва		+9
	Чернозем		+3
	Серая лесная почва		+4
Ячмень, сорт Раушан	Песок	То же	-1
	Чернозем		-2
Пшеница, сорт Лиза	Дерново-подзолистая почва	Фитоспорин-М	+2
		Алирин-Б	+11
		Гамаир	+5
		Глиокладин	+4

Т а б л и ц а 2

Влияние предпосевной обработки семян яровой пшеницы сорта Лиза различными сорбентами на их прорастание и развитие проростков в дерново-подзолистой почве

The pretreatment effect of spring wheat seeds of the variety Lisa with various sorbents on their germination and development of seedlings in sod-podzolic soil

Препарат	Эффект, %
Силикагель	+5
Оксид алюминия	+11
Инертон	-20
Полисорб	+3
Фильтрум	0
Активированный уголь	-18
Активированный уголь с гуматом на его поверхности	0

Т а б л и ц а 3

Влияние предпосевной обработки семян пшеницы растворами, содержащими многозарядные катионы, на их прорастание и развитие в дерново-подзолистой почве

The pretreatment effect of wheat seeds with solutions containing multiply charged cations on their germination and development in sod-podzolic soil

Культура, сорт	Раствор	Эффект, %
Пшеница, сорт Безенчукская 380	Сульфат цинка, 2 г/л (по цинку)	0
	5 г/л (по цинку)	0
	10 г/л (по цинку)	-2
	20 г/л (по цинку)	-3
Пшеница, сорт Лиза	Нитрат кальция, 10 г/л (по кальцию)	-2
	20 г/л (по кальцию)	-5

Результаты и обсуждение

На первом этапе работы было изучено влияние предпосевной обработки семян на стимуляцию их развития микроорганизмами (табл. 1).

По полученным данным видно, что из используемых биофунгицидов на основе микроорганизмов значимое стимулирующее влияние оказали только Алирин-Б и Фитоспорин-М. Причем эффективность действия Алирина-Б проявилась на дерново-подзолистой почве с яровой пшеницей сорта Лиза, а «Фитоспорина-М — на озимом тритикале сорта Немчиновский 56 на дерново-подзолистой почве (см. табл. 1).

Обращает на себя внимание тот факт, что применение препарата Фитоспорин-М на озимом три-

тикале сорта Немчиновский 56 на песке приводит к некоторому угнетению развития семян, а использование этого препарата на дерново-подзолистой почве с яровой пшеницей сорта Лиза не дает положительного результата. Также хорошо видно отсутствие значимого эффекта при использовании препарата Фитоспорин-М на тритикале сорта Немчиновский 56 на других почвах. Для ячменя сорта Раушан этот препарат не дал эффекта во всех случаях его применения. Отметим, что остальные препараты (Гамаир и Глиокладин) при испытании тоже не показали значимых результатов (см. табл. 1).

Обработка семян твердыми сорбентами (табл. 2) приводила иногда к некоторому стимулированию их развития (оксид алюминия). В ряде случаев при использовании сорбентов

Т а б л и ц а 4

Влияние предпосевной обработки семян зерновых культур гуматами на их прорастание и развитие проростков в различных субстратах

The pretreatment effect of grain crops seeds with humates on their germination and development of seedlings in various substrates

Культура, сорт	Субстрат	Препарат	Эффект, %
Пшеница, сорт Лиза	Песок	Гумат	+4
	Дерново-подзолистая почва		+12
	Песок	Гумат, активированный в гептане	+6
	Дерново-подзолистая почва		+25
Пшеница, сорт Безенчукская 380	Песок	Гумат	-3
	Дерново-подзолистая почва		0
	Песок	Гумат, активированный в гептане	+3
	Дерново-подзолистая почва		+11
Рожь, сорт Татьяна	Песок	Гумат	+19
	Чернозем		+23
	Песок	Гумат, активированный в гептане	-11
	Чернозем		-9

(инертна и активированного угля) мы наблюдали (см. табл. 2) заметное ингибирование развития семян.

Изучение обработки семян растворами, содержащими катионы цинка и кальция, показало, что наличие в растворах многозарядных катионов не активирует их развитие (табл. 3).

Из данных табл. 4 хорошо видно, что влияние обработки песка гуматом для семян пшеницы сорта Лиза при их посеве достаточно мало, но заметно возрастает при посеве в дерново-подзолистую почву. Освобождение у гуматов активных центров в гептане заметно повышает эффект стимуляции, проявляющийся при посеве в дерново-подзолистую почву.

Для семян пшеницы сорта Безенчукская 380 обработка неактивированным гуматом не оказывает значимого влияния ни на песке, ни на дерново-подзолистой почве, но обработка активированным гуматом при посеве на дерново-подзолистой почве заметно стимулирует развитие семян по сравнению с их посевом в песок (см. табл. 4).

Несколько иная картина наблюдается для озимой ржи сорта Татьяна. При посеве в чернозем обработка семян раствором гумата заметно активирует развитие семян так же, как при их посеве в песок, а обработка активированным гуматом приводит к проявлению ингибирования прорастания семян при посеве в оба субстрата (см. табл. 4).

Анализ полученных результатов показывает, что стимуляция не связана с наличием в семенах фитопатогенов, так как в этом случае все биофунгициды оказали бы стимулирующее действие при их применении на всех субстратах.

Полученные данные также свидетельствуют о том, что патогены не присутствуют и в почвах,

поскольку в противном случае при посеве обработанных биофунгицидами семян в почвы всегда наблюдалась бы стимуляция.

Наличие стимулирующего эффекта препарата Фитоспорин-М при посеве обработанных им семян озимого тритикале сорт Немчиновский 56 в дерново-подзолистой почве по сравнению с посевом в песке позволяет констатировать сложный характер эффекта стимуляции развития семян биофунгицидами. Данный эффект не объясняется выделением микроорганизмами биологически активных для развития семян веществ, так как это приводило бы к стимуляции развития семян и в песке, и в почвах. Действие препаратов можно объяснить способностью некоторых штаммов бактерии «*Bacillus subtilis*» разрушать аллелотоксины, поступающие в семена из почв. Различная толерантность культур и сортов растений к аллелотоксинам и различный их комплекс в разных почвах позволяют понять разнообразие наблюдаемых эффектов.

Стимуляция сорбентом (оксидом алюминия) однозначно свидетельствует об удалении из системы веществ, ингибирующих процесс развития семян, однако и в таком случае наблюдается ингибирование сорбентами развития семян. Подобное ингибирование характерно как для гидрофобных (активированный уголь), так и для гидрофильных сорбентов (инертон), т. е. данный эффект не связан со свойствами поверхности сорбентов. По-видимому, возникновение ингибирования объясняется поглощением сорбентами необходимых для развития семян БАВ, молекулы которых содержат гидрофильные и гидрофобные участки и могут закрепляться на сорбентах разной природы. При использовании препаратов, способных снижать в семенах активность не только аллелотоксинов,

но и БАВ, можно ожидать появление ингибирования там, где мы ожидали обнаружить стимуляцию вследствие поглощения аллелотоксинов.

Результаты, полученные при обработке семян растворами, содержащими многозарядные катионы, для стимуляции их развития, свидетельствуют о следующем. Катионы не лимитируют развитие семян и не могут значимо снизить количество аллелотоксинов, поступающих из почвы в семена. Следует отметить, что данный отрицательный результат касается конкретных семян и конкретной почвы. На других почвах, в которых многозарядные катионы способны снижать концентрацию аллелотоксинов, ситуация может быть иной. Однако универсального эффекта от применения для стимуляции развития семян многозарядных катионов ожидать не стоит.

Для объяснения результатов, наблюдаемых при обработке семян растворами гуматов, привнесем во внимание, что не только почвы, но и семена содержат фитотоксины, ингибирующие их развитие. Это отмечается в работах М.Г. Николаевой [18] и следует из исследований Н.А. Красильникова [8], показывающего, что фитотоксины из почв распространяются по всему растению, а следовательно, могут попасть и в семена. В результате при изучении прорастания семян в песке (или другом инертном субстрате) мы фактически исследуем влияние на их прорастание накопившихся в семенах аллелотоксинов и активацию прорастания семян гуминовыми веществами за счет устранения негативного действия этих аллелотоксинов. При прорастании семян в почвах на их развитие наряду с аллелотоксинами, присутствующими в семенах, влияют аллелотоксины, поступающие в семена из почв, которых может быть значительно больше, чем их содержится в семенах, а по составу они могут заметно различаться. При проведении испытаний в песке мы изучаем влияние применяемых препаратов на снижение ингибирующего воздействия аллелотоксинов, содержащихся в семенах, при проведении экспериментов в почвах, по-видимому, большее влияние должны оказывать аллелотоксины, поступающие в семена из почв.

В связи с этим наблюдаемые на семенах пшеницы, обработанных растворами гуматов, результаты можно объяснить незначительным содержанием аллелотоксинов в семенах. Поэтому обработка семян гумусовыми веществами (ГВ) при их посеве в песок не оказывает заметного влияния на развитие семян.

При посеве в почву аллелотоксины, ингибирующие развитие семян и поступающие из почвы, вероятно, хорошо закрепляются на активированном гумате. Это приводит к появлению значительного стимулирующего эффекта при посеве

в почву семян, обработанных активированным гуматом. Отметим, что объяснить наблюдаемые в почвах и не наблюдаемые в песке эффекты стимуляции чем-то иным, а не наличием в почвах аллелотоксинов, достаточно затруднительно.

Для семян ржи (см. табл. 4) субстрат, на котором высевают семена, мало влияет на эффект стимуляции. По-видимому, эффект стимуляции связан с содержанием аллелотоксинов в самих семенах, но освобождение активных центров гумата приводит к появлению заметного угнетения развития семян. Это можно объяснить тем, что ГВ, так же, как рассмотренные выше твердые сорбенты, способны поглощать из семян БАВ, определяющие их развитие, и при нехватке этих веществ происходит замедление развития семян.

При рассмотрении хорошо известного стимулирующего воздействия гуминовых препаратов на развитие семян с позиций снижения ГВ ингибирующего влияния аллелотоксинов заметно изменяются представления о природе стимуляции. Связано это с тем, что появляется возможность объяснить с единых позиций несколько хорошо известных экспериментальных фактов.

Во-первых, исчезает необходимость поиска механизмов действия ГВ путем вмешательства в биохимические реакции [19]: влияния на проницаемость клеточных мембран, дыхательного метаболизма и т. д.

Во-вторых, исчезает необходимость искать пути проникновения ГВ внутрь растительных клеток [20, 21], так как ГВ могут сорбировать токсины и снижать их концентрацию внутри растительных клеток, находясь на поверхности последних.

В-третьих, становится понятным проявление биологической активности ГВ при фолитарной обработке. Связано это, скорее всего, с тем, что часть аллелотоксинов попадает через корни в ветви и листья растений и может замедлять их рост и фотосинтез [8], а ГВ удаляют аллелотоксины из листьев за счет сорбции.

В-четвертых, логично объясняется при подобном подходе защитная способность ГВ при действии на растения стрессов. Обусловлена она известным свойством растений выделять при стрессе аллелотоксины [10, 22], которые замедляют биохимические реакции, защищая растения от гибели. В условиях наличия стресса ГВ снижают концентрацию аллелотоксинов в растениях, ускоряя их вегетацию и снижая воздействие стресса.

В результате рассмотрения природы стимуляции и биологической активности ГВ с новых позиций возникает новая возможность повышения эффективности использования гуматов путем освобождения их сорбционных центров, удаляя с них закрепленные молекулы.

Выполненные эксперименты свидетельствуют, о том, что для стимуляции прорастания и дальнейшего развития семян следует обеспечить развивающиеся семена всеми необходимыми для нормального прорастания БАВ, удалить фитотоксины из семян или другим способом устранить их негативное влияние на развитие семян, а также не допустить поступления фитотоксинов из почв в семена.

При этом характер и значимость влияния на развитие семян каждого из перечисленных факторов для пар *семена — почва* заранее предсказать невозможно, но не вызывает сомнений то, что они могут различаться. Следовательно, проведение экспериментов по разработке стимулятора на какой-либо паре *семена — почва* не может прогнозировать эффективность применения найденного стимулятора для других пар *семена — почва*.

Это позволяет сделать вывод о том, что возможность разработки пригодного для большого числа культур и почв стимулятора только на основе сорбции токсинов из семян и предотвращения их поступления в семена из почв является маловероятной. Основные мешающие факторы — поглощение сорбентами аллелотоксинов, необходимых для развития семян БАВ, и трудность разработки сорбента, который сможет поглотить все ингибирующие развитие семян аллелотоксины, способные поступить в семена из почвы.

Можно предположить, что более перспективен вариант, в котором используется защита семян от аллелотоксинов микроорганизмами, способными их дезактивировать. Подобное можно осуществлять двумя способами: во-первых, путем нанесения таких микроорганизмов на семена перед посевом, при чем необходимо, чтобы эти микроорганизмы могли функционировать в присутствии почвенных микроорганизмов, не угнетаясь ими; во-вторых, путем обработки семян веществами, которые активируют развитие почвенных микроорганизмов, способных защитить семена от проникновения в них аллелотоксинов. Второй вариант значительно более перспективен, так как количество аллелотоксинов, содержащихся в почве, в этом случае не будет влиять на способность препаратов стимулировать развитие семян при условии способности микроорганизмов их «утилизировать». Можно предположить, что именно на этом механизме основана активация прорастания семян и развития из них растений препаратом Альбит [23, 24], основным действующим веществом которого является полибетагидроксимасляная кислота, являющаяся запасным энергетическим материалом у прокариот.

Таким образом, в связи с практически полным отсутствием почв, не содержащих аллелотокси-

ны, в основе разработки препаратов — стимуляторов развития семян, по-видимому, должна лежать их защита от почвенных аллелотоксинов.

Выводы

1. Проведенные эксперименты подтверждают предположение о том, что стимуляция развития семян различными препаратами состоит в защите прорастающих семян от ингибирующего действия аллелотоксинов. Об этом свидетельствуют: заметное стимулирующее влияние некоторых сорбентов, активация гуматов путем освобождения их активных центров, различная стимуляция гуматами семян, прорастающих на песке и почвах.

2. Защитить семена от аллелотоксинов почв, используя твердые сорбенты или сорбционную способность ГВ, по-видимому, не удастся, в первую очередь из-за количества аллелотоксинов в почве, превышающего сорбционную емкость тех препаратов-сорбентов, которые могут оставаться на семенах после обработки.

3. В связи с практически полным отсутствием почв, не содержащих аллелотоксины, в основе разработки препаратов-стимуляторов развития семян должна лежать их защита от почвенных аллелотоксинов.

Список литературы

- [1] Алтухов И.В., Федотов В.А. Взаимодействие ИК-излучения различных длин волн на семена пшеницы // Ползуновский вестник, 2011. № 2/1. С. 156–159.
- [2] Дмитриев А.М., Страцкевич Л.К. Стимуляция роста растений / Под ред. Н.Ф. Батыгина. Минск: Ураджай, 1986. 118 с.
- [3] Кравец А.В., Бобровская Д.Л., Касимова Л.В., Зотикова А.П. Предпосевная обработка семян яровой пшеницы гуминовым препаратом из торфа // Вестник Алтайского государственного аграрного университета, 2011. № 4 (78). С. 22–24.
- [4] Сечняк Л.К., Киндрук Н.А., Слюсаренко О.К., Иващенко В.Г., Кузнецов Е.Д. Экология семян пшеницы. М.: Колос, 1983. 349 с.
- [5] Balakhnina T. The influence of wheat *Triticum aestivum* L. seed pre-sowing treatment with magnetic fields on germination, seedling growth, and antioxidant potential under optimal soil watering and flooding // Acta physiologica plantarum, 2015, v. 37, no. 3, pp. 59.
- [6] Šerá V. New physicochemical treatment method of poppy seeds for agriculture and food industries // Plasma Science and Technology, 2013, v. 15, no. 9, pp. 935.
- [7] Федотов Г.Н., Федотова М.Ф., Шалаев В.С., Батырев Ю.П., Горепекин И.В. Применение системного подхода к изучению стимуляции прорастания семян в почвах // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 2. С. 28–34.
- [8] Красильников Н.А. Микроорганизмы почвы и высшие растения. М.: АН СССР, 1958. 464 с.
- [9] Гродзинский А.М., Богдан Г.П., Головки Э.А., Дзюбенко Н.Н., Мороз П.А., Прутенская Н.И. Аллелопатическое почвоутомление. Киев: Наукова думка, 1979. 248 с.
- [10] Allelopathy. A Physiological Process with Ecological Implications. Ed. Reigosa M.J., Pedrol N., Gonzalez L. Netherlands: Springer, 2006, 637 p.

- [11] McCalla T.M., Haskins F.A. Phytotoxic Substances from Soil Microorganisms and Crop Residues // *Bacteriological Reviews*, 1964, v. 28, no. 2, pp. 181–207.
- [12] Rice E.L. Allelopathy. New York–London: Academic Press, 1984, 422 p.
- [13] Федотов Г.Н., Шоба С.А., Федотова М.Ф., Горепекин И.В. Влияние алелотоксичности почв на прорастание семян зерновых культур // *Почвоведение*, 2019. № 4. С. 489–496.
- [14] 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.
- [15] Ghulam J., Shaikat M., Arshad N.C., Imran H., Muhammad A. Allelochemicals: sources, toxicity and microbial transformation in soil - a review // *Annals of Microbiology*, 2008, no. 58 (3), pp. 351–357.
- [16] Li Y.P., Feng Y.L., Chen Y.J., Tian Y.H. Soil microbes alleviate allelopathy of invasive plants // *Sci. Bull.*, 2015, no. 60(12), pp. 1083–1091.
- [17] Norouzi Y., Mohammadi G.R., Nosrati I. Soil factors affecting the allelopathic activities of some plant species // *J. Appl. Environ. Biol. Sci.*, 2015, no. 5(8), pp. 285–290.
- [18] Николаева М.Г. Покой семян и факторы его контролируемые // *Физиология и биохимия покоя и прорастания семян* / Под ред. М.Г. Николаевой и Обручевой. М.: Колос, 1982. С. 72–98.
- [19] Безуглова О.С. Гуминовые вещества в биосфере. Ростов-на-Дону, 2009. 120 с.
- [20] Куликова Н.А. Защитное действие гуминовых веществ по отношению к растениям в водной и почвенных средах в условиях абиотических стрессов: дис. ... д-ра биол. наук. М., 2008. 303 с.
- [21] Попов А.И. Гуминовые вещества: свойства, строение, образование / Под ред. Е.И. Ермакова. СПб.: СПбГУ, 2004. 248 с.
- [22] Биохимические механизмы интоксикации растений при засолении среды. Алма-Ата: Наука, 1980. 172 с.
- [23] Алехин В.Т., Сергеев В.Р., Злотников А.К., Попов Ю.В., Рябчинская Т.А., Рукин В.Ф. Альбит на зерновых культурах и сахарной свекле // *Защита и карантин растений*, 2006. № 6 С. 26–27.
- [24] Рябчинская Т.А., Харченко Г.Л., Саранцева Н.А., Бобрецова И.Ю., Злотников А.К. Полифункциональное действие препарата Альбит при предпосевной обработке семян яровой пшеницы // *Агрохимия*, 2009. № 10. С. 39–47.

Сведения об авторах

Федотов Геннадий Николаевич — д-р биол. наук, ведущий научный сотрудник факультета почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова, gennadiy.fedotov@gmail.com

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

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

Поступила в редакцию 22.05.2019.

Принята к публикации 07.07.2019.

ALLELOTOXINS IN SOILS AND SEEDS GROWTH STIMULATION

G.N. Fedotov^{1,2}, V.S. Shalaev², Yu.P. Batyrev²

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

gennadiy.fedotov@gmail.com

The influence of grain seeds treatment with solutions containing biological fungicides, sorbents, multicharged cations and humic preparations on the seeds growth and their germs in sand and various soils was studied. The experiments confirm the hypothesis that the stimulation of seeds by various stimulants is protect them from inhibitory actions of allelotoxins. This is evidenced by the stimulating effect of some solid sorbents, as well as data showing that the release of active centers of humates leads to increase efficiency of their use. From these positions the different stimulation of seeds germinating on sand and in soils by humates is well explained. In connection with the almost complete lack of soil without allelotoxins, the basis for development of seeds growth stimulants, should lie to protect them from soil allelotoxins.

Keywords: allelopathy, soils toxicity, the inhibition of soil seeds growth, sorbents, microorganisms

Suggested citation: Fedotov G.N., Shalaev V.S., Batyrev Yu.P. *Allelotoksiny v pochvakh i stimulyatsiya razvitiya semyan* [Allelotoxins in soils and seeds growth stimulation]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2019, vol. 23, no. 5, pp. 62–70. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-5-62-70

References

- [1] Altukhov I.V., Fedotov V.A. *Vzaimodeystvie IK-izlucheniya razlichnykh dlin voln na semena pshenitsy* [Interaction of IR radiation of different wavelengths on wheat seeds]. *Polzunovskiy vestnik*, 2011, no. 2/1, pp. 156–159.
- [2] Dmitriev A.M., Stratskevich L.K. *Stimulyatsiya rosta rasteniy* [Stimulation of plant growth]. Ed. N.F. Batygin. Minsk: Uradzhay, 1986, 118 p.

- [3] Kravets A.V., Bobrovskaya D.L., Kasimova L.V., Zotikova A.P. *Predposevnaya obrabotka semyan yarovoy pshenitsy guminovym preparatom iz torfa* [Pre-sowing treatment of spring wheat seeds with humic preparation from peat]. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2011, no. 4 (78), pp. 22–24.
- [4] Sechnyak L.K., Kindruk N.A., Slyusarenko O.K., Ivashchenko V.G., Kuznetsov E.D. *Ekologiya semyan pshenitsy* [Ecology of wheat seeds]. Moscow: Kolos, 1983, 349 p.
- [5] Balakhnina T. The influence of wheat *Triticum aestivum* L. seed pre-sowing treatment with magnetic fields on germination, seedling growth, and antioxidant potential under optimal soil watering and flooding. *Acta physiologiae plantarum*, 2015, v. 37, no. 3, pp. 59.
- [6] Šerá B. New physicochemical treatment method of poppy seeds for agriculture and food industries. *Plasma Science and Technology*, 2013, v. 15, no. 9, pp. 935.
- [7] Fedotov G.N., Fedotova M.F., Shalaev V.S., Batyrev Yu.P., Gorepekin I.V. *Primenenie sistemnogo podkhoda k izucheniyu stimulyatsii prorastaniya semyan v pochvakh* [Application of a systematic approach to study of seed germination stimulation in soils]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, v. 22, no. 2, pp. 28–34.
- [8] Krasil'nikov N.A. *Mikroorganizmy pochvy i vysshie rasteniya* [Soil microorganisms and higher plants]. Moscow: AN SSSR, 1958, 464 p.
- [9] Grodzinskiy A.M., Bogdan G.P., Golovko E.A., Dzyubenko N.N., Moroz P.A., Prutenskaya N.I. *Al-lelopaticheskoe pochvou-tomlenie* [Allelopathic soil fatigue]. Kiev: Naukova dumka, 1979, 248 p.
- [10] Allelopathy. A Physiological Process with Ecological Implications. Ed. Reigosa M.J., Pedrol N., Gonzalez L. Netherlands: Springer, 2006, 637 p.
- [11] McCalla T.M., Haskins F.A. Phytotoxic Substances from Soil Microorganisms and Crop Residues. *Bacteriological Reviews*, 1964, v. 28, no.2, pp. 181–207.
- [12] Rice E.L. Allelopathy. New York–London: Academic Press, 1984, 422 p.
- [13] Fedotov G.N., Shoba S.A., Fedotova M.F., Gorepekin I.V. *Vliyanie allelotoksichnosti pochv na prorastanie semyan zernovykh kul'tur* [The influence of soils allelotoxicity on grain crops seeds germination]. *Pochvovedenie [Eurasian Soil Science]*, 2019, no. 4, pp. 489–496.
- [14] 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.
- [15] Ghulam J., Shaukat M., Arshad N.C., Imran H., Muhammad A. Allelochemicals: sources, toxicity and microbial transformation in soil – a review. *Annals of Microbiology*, 2008, no. 58 (3), pp. 351–357.
- [16] Li Y.P., Feng Y.L., Chen Y.J., Tian Y.H. Soil microbes alleviate allelopathy of invasive plants. *Sci. Bull.*, 2015, no. 60(12), pp. 1083–1091.
- [17] Norouzi Y., Mohammadi G.R., Nosratti I. Soil factors affecting the allelopathic activities of some plant species. *J. Appl. Environ. Biol. Sci.*, 2015, no. 5(8), pp. 285–290.
- [18] Nikolaeva M.G. *Pokoy semyan i faktory ego kontroliruyushchie* [Rest of seeds and its controlling factors]. *Fiziologiya i biokhimiya pokoya i prorastaniya semyan* [Physiology and biochemistry of seeds dormancy and germination]. Moscow: Kolos, 1982, pp. 72–98.
- [19] Bezuglova O.S. *Guminovye veshchestva v biosfere* [Humic substances in the biosphere]. Rostov-na-Donu, 2009, 120 p.
- [20] Kulikova N.A. *Zashchitnoe deystvie guminovykh veshchestv po otnosheniyu k rasteni-yam v vodnoy i pochvennykh sredakh v usloviyakh abioticheskikh stressov* [Protective effect of humic substances on plants in water and soil environments under abiotic stresses]. *Dis. ... Dr. Sci. (Biol.)*. Moscow, 2008, 303 p.
- [21] Popov A.I. *Guminovye veshchestva: svoystva, stroenie, obrazovanie* [Humic substances: properties, structure, formation]. Ed. E.I. Ermakov. St.Petersburg: SPbPU, 2004, 248 p.
- [22] *Biokhicheskie mekhanizmy intoksikatsii rasteniy pri zasolenii sredy* [Biochemical mechanisms of plants intoxication under saline environment]. Alma-Ata: Nauka, 1980, 172 p.
- [23] Alekhin V.T., Sergeev V.R., Zlotnikov A.K., Popov Yu.V., Ryabchinskaya T.A., Rukin V.F. *Al'bit na zernovykh kul'turakh i sakharной svekle* [Albite on grain crop and sugar beet]. *Zashchita i karantin rasteniy*, 2006, no. 6, pp. 26–27.
- [24] Ryabchinskaya T.A., Kharchenko G.L., Sarantseva N.A., Bobreshova I.Yu., Zlotnikov A.K. *Polifunktional'noe deystvie preparata Al'bit pri predposevnoy obrabotke semyan yarovoy pshenitsy* [The multifunctional effect of the stimulant Albite during the pre-sowing treatment of spring wheat seeds]. *Agrokimiya [Agrochemistry]*, 2009, no. 10, pp. 39–47.

Authors' information

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

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

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

Received 22.05.2019.

Accepted for publication 07.07.2019.

УДК 911.37+504.03

DOI: 10.18698/2542-1468-2019-5-71-78

ЭКОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ГОРОДСКОГО КУЛЬТУРНОГО ЛАНДШАФТА

В.А. Топорина, Е.И. Голубева, Т.О. Король

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, Географический факультет

egolubeva@gmail.com

Данная работа посвящена системному подходу к эколого-географическому исследованию городов и его принципам — экосистемности и географичности, реализованных в исследованиях, включающих описание современных ландшафтов, выделение видов территорий, обоснование природно-экологического каркаса, анализ системы зеленых насаждений как элемента различных городских каркасов, город как «остров тепла». Объект исследования — Москва. Было выделено 12 видов территорий города Москвы, которые связаны с разной степенью трансформации природных ландшафтных комплексов. Отдельная группа — каркасы Москвы — природно-экологический, природной, историко-культурной. Проводились исследования садово-парковых территорий различных городов как объектов рекреационной деятельности. Еще одна группа исследований посвящена явлению — городской «остров тепла», который приводит к снижению комфортности городской среды для населения в теплый период. Проведенный анализ современных эколого-географических исследований Москвы показал их высокое значение для усовершенствования системы экологического мониторинга города.

Ключевые слова: каркас, системный подход, планирование территории, типы городской территории, «остров тепла», влияние на окружающую среду, мегаполис

Ссылка для цитирования: Топорина В.А., Голубева Е.И., Король Т.О. Эколого-географические аспекты исследования городского культурного ландшафта // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2019. Т. 23. № 5. С. 71–78. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-5-71-78

Город — сложная природно-антропогенная техническая территориальная система (урбогеосистема), которая является частью ландшафтной структуры территории. Город представляет собой единство природного ландшафта, техногенной составляющей покрова, населения, культурного и исторического наследия. Поэтому каждый город отражает уникальные природно-ландшафтные, инженерные, архитектурно-планировочные и социально-экологические особенности территории. Одновременно с этим в городах уникальность соседствует с типичностью проблем, которые возникают в результате освоения территории. Такая унификация в современном облике городов, с одной стороны, отражает процессы глобализации, с другой — тенденции моды в архитектуре.

Мегаполисы как «двигатели прогресса» влияют на структурно-функциональную трансформацию пространства, инновации во всех отраслях хозяйственной деятельности и жизни населения. Так, архитекторы и урбанисты [1, 2] отмечают рост и развитие «креативной экономики» Москвы в противовес традиционной. Город сегодня наполнен арт-кластерами, новыми культурными объектами, яркими стартапами, отмечается множеством разнообразных общественных мероприятий. Недавно работавшие в центре города фабрики переехали на окраины или закрылись. В оставленные ими промышленные здания въехали дизайн-студии, архитектурные бюро, кафе, клубы, рекламные агентства и арт-центры. По приблизительным оценкам

на долю креативной экономики приходится от 4 до 7 % промышленного комплекса Москвы (для сравнения: в Лондоне — 11 %). Таким образом, крупнейшие мегаполисы современного мира похожи один на другой больше, чем на другие города в пределах своей страны. Эта «схожесть» мегаполисов проявляется и в их одинаковом воздействии на окружающую среду, не ограничиваясь только локальным уровнем. Расширение собственно городской территории и строительство пригородных коттеджных поселков [3–5] сокращают площадь ценных лесных земель и сельскохозяйственных угодий. Города в ходе своего функционирования воздействуют на устоявшиеся природные условия — изменяют и нарушают гидрологический режим собственной и прилегающих территории, влияют на климат и циркуляцию атмосферного воздуха [6], на литосферу, вызывая появление прогибов земной коры [7].

Во всех городах осуществляется единообразная застройка пространства однотипными зданиями. По завершении строительства возникают известные последствия — однообразный пейзаж, хоть и на современном уровне, ухудшение качества окружающей среды (вследствие вырубki естественных или ранее высаженных зеленых насаждений и уничтожения квазиприродных комплексов) и т. д. Попытки компенсировать утрату природного комплекса оказываются неудачными. Город стремится создать квазиприродную урбоэкосистему, но часто с однобоким результатом:

наличием искусственных конструктоземов, газонных покрытий и т. п. Такие урбоэкосистемы «мертвы», поскольку естественный растительный покров и верхние почвенные горизонты подвергаются уничтожению. Последствия этого — логичны и ожидаемы: нарушение естественного почвенного режима, изменение и сокращение биоразнообразия, что неминуемо приводит к дисбалансу, т. е. к утрате «устойчивости» городской среды. Очевидно, что условия городов и их облик постепенно подвергаются унификации.

Цель работы

В настоящей работе рассматриваются современные подходы к анализу последствий функционирования городов как природно-антропогенных и историко-архитектурных систем, эколого-географические проблемы городов, современные тенденции в их структурно-функциональной организации, а также выделяются основные векторы оптимизации городского пространства для создания комфортной среды для проживания людей и экономической деятельности.

Материалы и методы

Эколого-географические исследования городов актуальны для планирования на перспективу и разработки предложений по сбалансированному развитию городской территории, обеспечению комфортности проживания населения, охраны окружающей среды и объектов культурного наследия, т. е. по рациональному использованию городской территории и размещению на ней объектов строительства с учетом охраны исторического и природного наследия.

Особенное внимание уделяется Москве — одному из крупнейших мегаполисов. Эколого-географические, историко-культурные и урбанистические аспекты исследования Москвы широко проводятся Географическим факультетом МГУ имени М.В. Ломоносова совместно со специалистами других факультетов, университетов, академических и отраслевых институтов.

В настоящее время Москва — один из городов с наибольшей плотностью населения по сравнению с другими крупными городами мира. Согласно некоторым оценкам, по числу жителей на 1 км² ее опережает только столица Бангладеш — Дакка. При этом спальные районы, где сосредоточено почти 10 млн чел., представляют собой крайне разреженные пространства. Такая пространственная неоднородность обуславливает проблему роста перегрузок дорожной сети. В целях ее преодоления необходимо создание новых публичных пространств, однако на практике чаще реализуется худший сценарий — осуществляются массовые застройки безликими сооружениями и

ущерб природно-экологическому каркасу, инженерным сооружениям и архитектурно-художественному облику.

В настоящее время Москву следует рассматривать с позиции системного подхода и его принципов, поскольку крупный город одновременно является и системой, состоящей из конечного множества элементов, и элементом более крупной общей системы. Урбогеосистемы как открытые системы тесно связаны с окружающей их территорией. Поэтому важно представлять город как часть окружающей его территории. Город и окружающие его ландшафтные и геотехнические комплексы также должны оцениваться с позиций их возможного влияния друг на друга, т. е. по принципу экосистемности, а по принципу географичности учитывается территориальное разнообразие, требуется разделение города на разнородные «выделы» (участки) по ландшафтному, инженерно-техническому, градопланировочному и демопопуляционным характеристикам.

Результаты и обсуждение

Системный подход и его принципы получили практическую реализацию в исследованиях, включающих в себя описание современных ландшафтов и выделение видов территорий, связанных с разной степенью трансформации, обоснованием природно-экологического каркаса, анализом системы зеленых насаждений как элемента различных городских каркасов — город как «остров тепла» [8–11].

Единый подход к решению проблемы разделения города на более мелкие ландшафтные выделы в настоящее время еще не разработан, хотя исследование городских ландшафтов имеет обширную историографию как в России, так и за рубежом [12]. Дискуссионными остаются и понимание сущности городских ландшафтов, и особенностей их картографирования. Так, в зарубежных исследованиях под городскими ландшафтами понимают природно-антропогенные системы с природными и социально-культурными составляющими [13].

Создание современной ландшафтной карты Москвы [12] представляет особый интерес для проведения оценочных исследований. Карта содержит два слоя, которые отражают совместное действие природных и антропогенных факторов. В первом слое территория дифференцирована по природным свойствам на уровне урочищ, а второй слой отражает дифференциацию по антропогенному фактору. Выделено 12 видов территорий в пределах города Москвы, которые связаны с разной степенью трансформации природных ландшафтных комплексов, а именно территории: 1) многофункциональные городские;

2) малоэтажные; 3) производственные; 4) транспортные; 5) складские и коммунальные; 6) рекреационно-природные; 7) дачно-коттеджные; 8) сельскохозяйственные; 9) лесные; 10) парковые; 11) застраиваемые; 12) аквальные [12]. В зависимости от степени антропогенной трансформации типы территорий можно отнести к категориям:

- антропогенно-природные ландшафты;
- природно-антропогенные;
- антропогенные ландшафты.

Следующее направление исследования — обоснование и организация природно-экологического каркаса, который в городских условиях выполняет несколько важнейших функций, а именно: санитарно-гигиеническую, средоформирующую и средообразующую, природоохранную. Кроме того, он имеет значение ограничителя застройки новых территорий.

Современные исследования в этом направлении весьма актуальны в связи с присоединением части Московской обл. к территории Москвы, в результате чего значительно увеличилась площадь городской застройки, поглощающая природные комплексы и сельскохозяйственные угодья.

В литературе встречаются различные точки зрения на термин «каркас». Б.Б. Родман [14] рассматривал концепцию каркаса, базируясь на представлениях о поляризованном ландшафте и решетке В. Кристаллера как механизме пространственной сегрегации урбанизированных и охраняемых природных территорий в целях сохранения биоразнообразия и рекреационных ресурсов. В дальнейшем такое понимание развилось в теорию каркаса как сочетание природных «диких» и «культурных» ландшафтов, соединенных коридорами [15].

Под «экологическим каркасом» понимают узлы и оси сосредоточения наибольшей экологической активности, максимальных напряжений гео- и биопотоков территорий и их максимальных градиентов [16–19].

В основании «экологического каркаса» первоначально лежала идея разделения урбанизированных и охраняемых территорий. К этому пониманию близка идея Э.Б. Алаева [19] о «биосферном каркасе», под которым понимаются места концентрации биомассы, биоактивности, генофонда (жизненные узлы) и т. п. и пути миграций животных, птиц, рыб (линии связи) и др. Элементы биосферного каркаса — особо охраняемые природные территории (ООПТ), а также естественные и искусственные насаждения вдоль русел рек, транспортных путей и др. Выдвинута идея «природного каркаса», который включает в себя наименее измененные участки природы, в том числе ООПТ. Кроме того, некоторые авторы приравнивают систему взаи-

мосвязанных ООПТ к понятию *зеленого каркаса (природоохранного каркаса)* [20].

В.А. Николаев [21] предложил использовать ландшафтный подход применительно к выделению экологического каркаса («экологической инфраструктуры») как совокупности геосистем в пределах определенного ландшафта, выполняющих функцию защиты окружающей среды и «мягкого» управления ландшафтом. Таким образом, обычными элементами каркаса в сельскохозяйственных, городских, рекреационных ландшафтах становятся разного рода зеленые насаждения (например, специального) и водоемы.

Внимание исследователей в этом направлении связано с анализом каркасов на региональном уровне. Известно большое количество тщательно разработанных и научно обоснованных вариантов каркасов, в частности для Смоленской, Волгоградской, Белгородской областей, Камчатского края и др. [22–26].

В литературе обосновано понятие «ландшафтно-экологический каркас» как система взаимосвязанных базовых природных, полуприродных и хозяйственных элементов территории, определяющих устойчивость ее структуры, экологическое состояние и эстетику природно-хозяйственного ландшафта или пейзажа [28].

В настоящее время большая часть территорий включает в себя множество разнообразных природно-антропогенных и техногенных элементов, определяющих функционирование и экологическое состояние. Различия между концепциями каркасов в их изначальной трактовке становятся менее очевидными при непосредственном выделении составляющих понятие «экологический каркас». Результаты научных исследований многих авторов демонстрируют сходные выводы о значимости как природных элементов, так и их антропогенных модификаций [28].

Наряду с рассмотренными природным, экологическим, ландшафтно-экологическим каркасами, выделяют историко-культурный и хозяйственный. Составляющие (элементы) перечисленных каркасов определяют сферу влияния или ограничения хозяйственной деятельности:

- природный каркас включает в себя компоненты природы (все сферы) и определяет инженерные (географические) условия строительства и природные условия жизнедеятельности;
- природно-экологический каркас (ПЭК) — особо охраняемые природные территории город, зеленые насаждения различного насаждения; эти территории обеспечивают и поддерживают благоприятные природно-экологические условия проживания;
- историко-культурный каркас — в настоящее время памятники историко-культурного наследия;

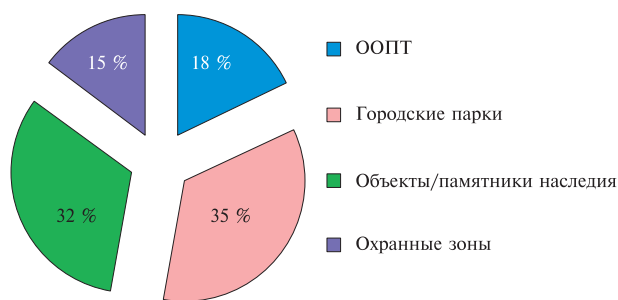
в прошлом — фокусы застройки и развития города; его составляющие определяют «ценность» территории, поскольку придают историческое или этнокультурное своеобразие городской территории;

– хозяйственный каркас территории включает в себя пространственно организованные, взаимосвязанные функциональные зоны, застроенные объектами социохозяйственного и производственного назначения — промышленные предприятия, населенные пункты, транспортные магистрали.

В состав каркасов входят узлы, коридоры и буферные территории. В зависимости от того, какая концепция каркаса используется при проведении исследований, составляющие каркасов могут изменяться. Например, природный каркас, который предопределяет условия строительства, включает в себя приводосборные понижения и древнеозерные котловины (узлы), единые ландшафтные системы долинных ландшафтов, речных долин (коридоры). Эти элементы выделяются для дальнейшего определения режимов использования территорий, поскольку такие ландшафтные комплексы составляют основу каркаса. На территории Москвы непрерывность коридоров нарушена (застройка, засыпка и т. д.), что снижает их значимость.

В тех случаях, когда в исследованиях оперируют понятием «природно-экологический каркас», к важнейшим элементам инфраструктуры относят наиболее ценные лесные и болотные комплексы, родники, зеленые насаждения специального назначения, объекты природного и культурного наследия — особо охраняемые территории, памятники природы, природные и рекреационные парки, культурно-исторические ландшафтные комплексы. Эти комплексы могут выступать в качестве узловых, линейных и буферных составляющих каркаса. Объекты природного и культурного наследия в городе (независимо от размера города) функционируют в пределах двух каркасов — природно-экологического и историко-культурного, вносят основной вклад в экологическую организацию города. Нужно отметить, что объекты культурного наследия (монастырские сады, старинные городские парки, городские дворянские усадьбы и дендропарки) — составные природно-экологического и историко-культурного каркасов, т. е. каркасы разного типа могут пересекаться в одних точках (рисунок). Как показывают наши исследования, городские парки и озелененные территории объектов наследия имеют наибольший вклад в составе каркаса.

В отличие от природного каркаса непрерывность природно-экологического каркаса поддерживается за счет природно-озелененных территорий, таких, как водоохраные, санитарно-защитные зоны, городские парки.



Структура природно-экологического и историко-культурного каркасов мегаполиса

The structure of the natural-ecological and historical-cultural megapolis frameworks

Отдельная группа эколого-географических городских исследований посвящена элементам природно-экологического каркаса — особо охраняемым территориям, природным и культурным. Эти объекты часто наследуют друг друга и являются преемниками ранее существовавших комплексов. Например, парки культуры и отдыха 1930-х гг. были устроены на месте бывших царских загородных резиденций и дворянских усадеб (Парк центрального дома Красной армии им. М.В. Фрунзе, Измайловский парк культуры и отдыха, Краснопресненский парк культуры и отдыха и т. д.).

Парки, скверы и другие зеленые зоны формируют комфортную и эстетичную городскую атмосферу. Жители крупнейших городов, в частности Лондона, Москвы или Парижа, понимая важное значение «зеленые территории», самостоятельно придают «привлекательность» городским районам, закладывая ее в стоимость жилья. Общественные парки и другие зеленые зоны служат площадками для социального взаимодействия за пределами дома или работы, т. е. имеют значение «третьих мест» [2], формируя и укрепляя социальные связи между горожанами.

Нами также были проведены исследования садово-парковых территорий различных городов как объектов рекреационной деятельности, поскольку садово-парковые комплексы бывших дворянских, царских, королевских усадеб, парков и садов органично вошли в состав зеленых насаждений Москвы, как и многих крупных европейских городов — Берлина, Будапешта, Вены, Лондона, Мадрида, Парижа. В результате было установлено, что их доля в общей площади зеленых насаждений невелика — не превышает 10 % городских территорий. В Москве и Будапеште, в частности, на них приходится 0,3 и 0,2 % соответственно [29], тем не менее они формируют образ города. Все парковые территории подобного типа отражают общие тенденции истории садово-паркового искусства, но выделены только территории, которые в некоторой степени отражают национальные особенности садово-паркового строительства (Москва) и являются универсальными

ми (Лондон, Париж). Комплекс предоставляемых, например, в венских и московских парках развлекательно-образовательных услуг, т. е. мастер-классов, музыкальных и театрализованных представлений, развлечений и площадок для детского творчества, экскурсий, сближает различные социальные группы. Подавляющая часть предоставляемых услуг направлена на осуществление различных по своим функциям видов рекреации в течение всего года для людей разных возрастных категорий.

Город в процессе функционирования оказывает не только химическое воздействие на прилегающие территории (выбросы и сбросы загрязняющих веществ), но и физическое (тепловое). В крупных городах температура воздуха в течение всего года на несколько градусов выше, чем на прилегающих территориях. Этот феномен получил развитие вследствие повышенного выброса тепловой энергии и антропогенного преобразования земной поверхности, а именно в результате плотной застройки, покрытия естественной поверхности искусственными материалами (асфальтом, бетоном, плиткой и др.), которые активно поглощают тепловое излучение, сокращения площадей, занятых зелеными насаждениями. В городе наблюдается зона повышенных температур воздуха, представляющая собой «остров тепла». Этому явлению также посвящены исследования.

В свою очередь, наблюдается и обратное влияние «острова тепла» — изменение термических свойств земной поверхности и снижение суммарного испарения [30]. Формирование городского «острова тепла» также связано с особенностями застройки в пределах города. Высокие здания имеют большую площадь поверхностей для отражения и поглощения солнечного излучения, тем самым увеличивая интенсивность нагрева городских территорий. Также в результате застройки высокими зданиями в городе происходит блокирование ветров, что приводит к снижению интенсивности конвективного охлаждения. Как уже отмечалось, особую роль в формировании климата города играют зеленые насаждения. Температура воздуха в зеленых районах Москвы на 4 °С ниже, чем внутри городского квартала. Это связано с тем, что зеленые насаждения защищают почву и поверхности стен зданий от прямого солнечного облучения, предохраняя их тем самым от сильного перегрева и повышения температуры воздуха. В связи с этим для центральных частей города с плотной застройкой и асфальтовым покрытием характерны наиболее высокие температуры воздуха. Развитие городского «острова тепла» приводит к снижению комфортности городской среды для населения в теплый период, а повышенные температуры особенно летом неблагоприятно влияют на здоровье его жителей [10].

Инновации в урбэкологии во многом связаны с перспективами применения зеленых строительных технологий. Они охватывают комплекс инновационных технологий, направленных на повышение эффективности использования энергии, воды, конструкционных материалов и комфортности проживания, на снижение влияния зданий на здоровье человека и окружающую среду в течение всего их жизненного цикла, что достигается путем качественного проектирования, расположения, строительства, использования и утилизации зданий. Концепция зеленого строительства охватывает все этапы строительного процесса и позволяет подойти системно к проблеме внедрения зеленых строительных технологий. Географический подход во многом определяет эффективность использования зеленых строительных технологий в России. Нами рассмотрены особенности влияния географических факторов — неоднородность природно-климатических, экологических и социально-экономических условий, которые непосредственно влияют на возможности внедрения и развития зеленых строительных технологий.

Выводы

Проведенные исследования городского культурного ландшафта показали эффективность применения технологии устойчивого экологического проектирования и зеленого строительства при выполнении предварительного расчета и реализации параметров энергоэффективности, термического комфорта, ориентации зданий по отношению к сторонам света, дневного освещения и солнечного затенения, естественной вентиляции.

Исходя из этого, можно рекомендовать решать задачи оптимального размещения здания на строительной площадке с точки зрения влияния направления и скорости ветра на людей, находящихся на данной территории. Такой подход связан и с уменьшением негативного влияния как городского «острова тепла», так и особенностей ветрового режима в зимний период на комфортность проживания. Проведенные исследования позволяют решать прикладные задачи ландшафтно-экологического проектирования и зеленого строительства объектов разного назначения — размещения площадок и строительства новых загородных поселений, частных загородных резиденций, возведения или реновации городских кварталов и районов, объектов промышленного назначения в городе или его пригороде, что может быть использовано для усовершенствования системы экологического мониторинга города, принятия экологически значимых решений органами государственной власти и местного самоуправления.

Список литературы

- [1] Флорида Р. Новый кризис городов. М.: Издательская группа «Точка», 2018. 430 с.
- [2] Москва. Археология будущего. Интервью Рема Колхаса Владимиру Познеру. URL: <https://pozneronline.ru/2018/07/21981> (дата обращения 18.09.2018).
- [3] Саянов А.А. Концепция ландшафтно-экологического проектирования коттеджных поселков // Экология урбанизированных территорий, 2013. №4. С. 65–69.
- [4] Nefedova T.G. The moscow suburbs: Specifics and spatial development of rural areas // Regional Research of Russia, 2018, v. 8, no. 3, pp. 225–237.
- [5] Махрова А.Г. Полиерархический анализ сезонной дачной субурбанизации в современной России // Региональные исследования, 2017. № 3. С. 23–34.
- [6] Кислов А.В., Варенцов М.И., Горлач И.А., Алексеева Л.И. «Остров тепла» Московской агломерации и урбанистическое усиление глобального потепления // Вестник Московского университета. Сер. 5: География, 2017. № 4. С. 12–19.
- [7] Лихачева Э.А., Маккаев А.Н., Локшин Г.П., Некрасова Л.А. Анализ устойчивости и динамичности рельефа города Москва // Геоморфология, 2006. № 4. С. 32–38.
- [8] Goretskaya A., Toporina V. The natural and ecological frameworks of the city of moscow // Three pillars of landscape architecture: design, planning and management. New visions. Eds: Ignatieva M., Melnichuk I. Saint-Petersburg: Polytechnic University Publishing House, 2017, pp. 136–146.
- [9] Смолицкая Т.А., Король Т.О., Голубева Е.И. Городской культурный ландшафт. Традиции и современные тенденции развития. М.: Editorial URSS, 2018. 272 с.
- [10] Таттимбетова Д.С., Голубева Е.И., Константинов П.И. Городской остров тепла как фактор формирования термической комфортности проживания для населения Москвы // Сб. материалов международной конференции «Изменение климата в городах: формы и стратегии адаптации с особым рассмотрением роли российских городских садов», Калининград, 30–31 октября 2018 г. Калининград: Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, 2019. С. 50–62.
- [11] Король Т.О. Роль природно-экологических факторов при внедрении зеленых строительных технологий в России // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности, 2017. Т. 25. № 1. С. 155–168.
- [12] Низовцев В.А., Эрман Н.М. Ландшафтно-экологическое картографирование Москвы для обоснования территориального планирования города // Геодезия и картография, 2019. Т. 80, № 1. С. 43–51.
- [13] Zipper W.C., Wu J., Pouyat R.V., Pickett S.T.A. The application of ecological principles to urban and urbanizing landscapes // Ecological Applications, 2000, v. 10, no. 3, pp. 685–688.
- [14] Родман Б.Б. Поляризация ландшафта как средство сохранения биосферы и рекреационных ресурсов // Ресурсы, среда, расселение. М.: Наука, 1974. С. 150–162.
- [15] Колбовский Е. Ю. Региональный экологический каркас: Проблемы формирования и развития // Проблемы региональной экологии, 1999. № 4. С. 79–92.
- [16] Владимиров В.В. Актуальности предпосылки экологического программирования в районной планировке // Вопросы географии, 1980. № 113. С. 109–117.
- [17] Кавалаяускас П. Системное проектирование сети особо охраняемых территорий // Геоэкологические подходы к проектированию природно-технических систем. М.: ИГ АН СССР, 1985. С. 145–153.
- [18] Сохина Э.Н., Зархина Е.С. Экологический каркас территории как основа системного нормирования природопользования // Общие принципы и подходы к территориальному регламентированию природопользования. Владивосток: ДВО АН СССР, 1989. С. 5–9.
- [19] Алаев Э.Б. Биосферный каркас и урбанизированные зоны // Тез. докл. науч. конф. «Физико-географические аспекты изучения урбанизированных территорий». Ярославль, 1992. С. 5.
- [20] Тишков А.А. Охраняемые природные территории и формирование каркаса устойчивости // Оценка качества окружающей среды и экол. картографирование / Под ред. А.С. Шестакова. М.: Институт географии РАН, 1995. С. 94–107.
- [21] Николаев В.А. Культурный ландшафт — геоэкологическая система // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5, География, 2000. № 6. С. 3–8.
- [22] Науменко А.Т. Камчатский природный каркас — основа слежения за естественной и антропогенной реконструкцией экологических систем, редукцией популяций в регионе // Тез. докл. Междунар. симп. «Мониторинг природной среды: экология, экономика, практика», Москва, 28–29 июня 1995 г. / Под ред. А.И. Каштанова, В.М. Чупахина. М.: Россельхозакадемия, 1995. С. 42–43.
- [23] Потылев В.Г., Потылев С.В., Шкаликов В.А. Леса Смоленщины как экологический каркас региона // Докл. науч.-практ. конф. «Проблемы разработки региональной модели устойчивого развития» / Под ред. Н.Д. Круглова. Смоленск, 1997. С. 201–203.
- [24] Медведева О.Е., Беляев В.Л. Включение экологического каркаса в процесс зонирования земель на примере Воронежской области // На пути к устойчивому развитию, 2001. Вып. 7 (18). С. 23–25.
- [25] Брылев В.А., Рябинина Н.О. Ландшафтно-экологический каркас Волгоградской области // Вопросы степеведения, 2000. № 2. С. 119–124.
- [26] Корнилов А.Г. О структуре экологического каркаса Валуйского района Белгородской области // Проблемы региональной экологии, 2009. № 1. С. 99–103.
- [27] Пономарев А.А., Байбаков Э.И., Рубцов В.А. Экологический каркас: анализ понятий // Ученые записки Казанского университета, 2012. Т. 154. Кн. 3. Естественные науки. С. 228–238.
- [28] Казаков Л.К. Ландшафтоведение с основами ландшафтного планирования: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. М.: Изд. центр «Академия», 2008. 336 с.
- [29] The Statistics Portal. URL: <https://www.statista.com> (дата обращения 15.02.2019).
- [30] Табунщиков Ю.А., Бродач М.М. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий. М.: АВОК-ПРЕСС, 2002. 194 с.

Сведения об авторах

Топорина Валентина Алексеевна — канд. геогр. наук, науч. сотр. Географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, valya-geo@yandex.ru

Голубева Елена Ильинична — д-р биол. наук, профессор Географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, egolubeva@gmail.com

Король Татьяна Олеговна — канд. геогр. наук, ст. науч. сотр. Географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, t120277@yandex.ru

Поступила в редакцию 29.03.2019.

Принята к публикации 18.05.2019.

ECOLOGICAL AND GEOGRAPHICAL ASPECTS OF URBAN CULTURAL LANDSCAPE RESEARCH

V.A. Toporina, E.I. Golubeva, T.O. Korol

M.V. Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Leninskie Gory, 1, GSP-1, 119991, Moscow, Russia

egolubeva@gmail.com

This work is devoted to a systematic approach to the ecological and geographical study of cities and its principles such as ecosystems and geography, implemented in studies that include a description of modern landscapes, identification of the types of territories, justification of the natural-ecological framework, analysis of the green space system as an element of various urban frameworks, the city as «Heat island». The object of study is Moscow. 12 types of territories of the city of Moscow were identified, which are associated with varying degrees of transformation of natural landscape complexes. A separate group, the skeletons of Moscow, is natural-ecological, natural, historical and cultural. Researches of landscape gardening territories of various cities as objects of recreational activity were carried out. Another group of studies is devoted to the phenomenon the urban «heat island», which leads to a decrease in the comfort of the urban environment for the population in the warm period. The analysis of modern ecological and geographical research in Moscow showed their high importance for improving the environmental monitoring system of the city.

Keywords: network, system approach, spatial planning, urban areas «heat island» effect on the environment, the metropolis

Suggested citation: Toporina V.A., Golubeva E.I., Korol T.O. *Ekologo-geograficheskie aspekty issledovaniya gorodskogo kul'turnogo landshafta* [Ecological and geographical aspects of urban cultural landscape research] *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2019, vol. 23, no. 5, pp. 71–78. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-5-71-78

References

- [1] Florida R. *Novyy krizis gorodov* [The New Urban Crisis]. Moscow: Izdatel'skaya gruppa «Tochka», 430 p.
- [2] *Moskva. Arkheologiya budushchego. Interv'yu Rema Kolkhasa Vladimiru Pozneru* [Moscow. Archaeology of future. Interview with Rem Koolhaas by Vladimir Pozner]. Available at: <https://pozneronline.ru/2018/07/21981>. (accessed 18.09.2018).
- [3] Sayanov A.A. *Kontseptsiya landshaftno-ekologicheskogo proektirovaniya kottedzhnykh poselkov* [Concept of landscape and ecological design of cottage settlements]. *Ekologiya urbanizirovannykh territoriy* [Ecology of urban areas], 2013, no. 4, pp. 65–69.
- [4] Nefedova T.G. The moscow suburbs: Specifics and spatial development of rural areas. *Regional Research of Russia*, 2018, v. 8, no. 3, pp. 225–237.
- [5] Makhrova A.G. *Poliierarkhicheskiy analiz sezonnoy dachnoy suburbanizatsii v sovremennoy Rossii* [Poly-hierarchical analysis of seasonal suburbanization in modern Russia]. *Regional'nye issledovaniya* [Regional studies], 2017, no. 3, pp. 23–34.
- [6] Kislov A.V., Varentsov M.I., Gorchach I.A., Alekseeva L.I. «*Ostrov tepla*» *Moskovskoy aglomeratsii i urbanisticheskoe usilenie global'nogo potepleniya* [«Island of heat» of Moscow agglomeration and urban strengthening of global warming]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5: Geografiya* [Moscow University Bulletin. Series 5, Geography], 2017, no. 4, pp. 12–19.
- [7] Likhacheva E.A., Makkaveev A.N., Lokshin G.P., Nekrasova L.A. *Analiz ustoychivosti i dinamichnosti rel'efa goroda Moskva* [Analysis of relief stability and dynamics in Moscow]. *Geomorfologiya* [Geomorphology], 2006, no. 4, pp. 32–38.
- [8] Goret'skaya A., Toporina V. The natural and ecological frameworks of the city of moscow. Three pillars of landscape architecture: design, planning and management. New visions. Eds: Ignatieva M., Melnichuk I. Saint-Petersburg: Polytechnic University Publishing House, 2017, pp. 136–146.
- [9] Smolitskaya T.A., Korol' T.O., Golubeva E.I. *Gorodskoy kul'turnyy landshaft. Traditsii i sovremennyye tendentsii razvitiya* [Urban cultural landscape. Traditions and modern tendencies]. Moscow: Editorial URSS, 2018, 272 p.
- [10] Tattimbetova D.S., Golubeva E.I., Konstantinov P.I. *Gorodskoy ostrov tepla kak faktor formirovaniya termicheskoy komfortnosti prozhivaniya dlya naseleniya Moskvy* [Urban «island of heat» as a factor of thermal living comfort for Moscow] *Sbornik materialov mezhdunarodnoy konferentsii: Izmenenie klimata v gorodakh: formy i strategii adaptatsii s osobym rassmotreniem roli rossiyskikh gorodskikh sadov (30–31 oktyabrya 2018, Kaliningrad)* [Proceedings of the international conference «Climate change in cities: forms and strategies of adaptation with special consideration of Russian urban gardens role», 30–31 October 2018, Kaliningrad]. Kaliningrad: Baltiyskiy federal'nyy universitet imeni Immanuila Kanta, 2019, pp. 50–62.

- [11] Korol' T.O. *Rol' prirodno-ekologicheskikh faktorov pri vnedrenii zelenykh stroitel'nykh tekhnologiy v Rossii* [Role of natural and environmental factors in the implementation of green building technologies in Russia]. *Vestnik Rossiyskogo universiteta družby narodov. Seriya: Ekologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti* [RUDN Journal of Ecology and Life Safety], 2017, v. 25, no. 1, pp. 155–168.
- [12] Nizovtsev V.A., Erman N.M. *Landshaftno-ekologicheskoe kartografirovanie Moskvy dlya obosnovaniya territorial'nogo planirovaniya goroda* [Landscape and ecological mapping of Moscow to justify the territorial planning of the city]. *Geodeziya i kartografiya* [Geodesy and cartography], 2019, v. 80, no. 1, pp. 43–51.
- [13] Zipper W.C., Wu J., Pouyat R.V., Pickett S.T.A. The application of ecological principles to urban and urbanizing landscapes. *Ecological Applications*, 2000, v. 10, no. 3, pp. 685–688.
- [14] Rodoman B.B. *Polyarizatsiya landshafta kak sredstvo sokhraneniya biosfery i rekreatsionnykh resursov* [Polarization of the landscape as a mean of biosphere and recreational resources protection]. *Resursy, sreda, rasselenie* [Resources, environment, resettlement]. Moscow: Nauka, 1974, pp. 150–162.
- [15] Kolbovskiy E.Yu. *Regional'nyy ekologicheskyy karkas: problemy formirovaniya i razvitiya* [Regional ecological network: the problems of design and development]. *Problemy regional'noy ekologii* [Problems of regional ecology], 1999, no. 4, pp. 79–92.
- [16] Vladimirov V.V. *Aktual'nosti predposylki ekologicheskogo programmirovaniya v rayonnoy planirovke* [Relevance of the background of environmental programming in the district planning] *Voprosy geografii* [Problems of geography]. Moscow: Mysl', 1980, no. 113, pp. 109–117.
- [17] Kavalyauskas P. *Sistemnoe proektirovanie seti osobo okhranyaemykh territoriy* [Design of the nature network]. *Geoekologicheskyye podkhody k proektirovaniyu prirodno-tekhnicheskikh sistem* [Geoecological approaches to design natural and technical systems]. Moscow: IG AN SSSR, 1985, pp. 145–153.
- [18] Sokhina E. N., Zarkhina E. S. *Ekologicheskyy karkas territorii kak osnova sistemnogo normirovaniya prirodopol'zovaniya* [Ecological network of the territory as the basis of nature use regulation]. *Obshchie printsipy i podkhody k territorial'nomu reglamentirovaniyu prirodopol'zovaniya* [General principles and approaches to environmental management regulation]. Vladivostok: DVO AN USSR, 1989, pp. 5–9.
- [19] Alaev E.B. *Biosfernyy karkas i urbanizirovannyye zony* [Biosphere network and urbanized zones]. *Fiziko-geograficheskie aspekty izucheniya urbanizirovannykh territoriy: Tez. dokl. nauch. konf.* [Physical and geographical aspects of the study of urban areas: Proceedings of the international conference]. Yaroslavl', 1992, pp. 5–9.
- [20] Tishkov A.A. *Okhranyaemye prirodnye territorii i formirovanie karkasa ustoychivosti* [Protected nature areas and design of the network of sustainability]. *Otsenka kachestva okruzhayushchey sredy i ekol. kartografirovanie* [Environmental quality assessment and ecological mapping]. Moscow, 1995, pp. 94–107.
- [21] Nikolaev V.A. *Kul'turnyy landshaft — geoekologicheskaya sistema* [Cultural landscape as geoecological system]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5: Geografiya* [Moscow University Bulletin. Series 5, Geography], 2000, no. 6, pp. 3–8.
- [22] Naumenko A.T. *Kamchatskiy prirodnyy karkas — osnova slezheniya za estestvennoy i antropogennoy rekonstruktsiyey ekologicheskikh sistem, reduktsiyey populyatsiy v regione* [Kamchatka's ecological network — as the basis for monitoring the processes of natural and anthropogenic reconstruction of ecological systems, reduction of populations in the region]. *Monitoring prirodnoy sredy: ekologiya, ekonomika, praktika: Tez. dokl. Mezhdunar. simp.* [Monitoring of the natural environment: ecology, economy, practice. Proceedings of the international simposium]. Moscow, 1995, pp. 42–43.
- [23] Potylev V.G., Potylev S.V., Shkalikov V.A. *Lesa Smolenshchiny kak ekologicheskyy karkas regiona* [Forests of Smolensk region as ecological network of the region]. *Problemy razrabotki regional'noy modeli ustoychivogo razvitiya: Dokl. nauch.-prakt. konf.* [Problems of inventing the regional model of sustainable development: Proceedings of conference]. Smolensk, 1997, pp. 201–203.
- [24] Medvedeva O.E., Belyaev V.L. *Vklyuchenie ekologicheskogo karkasa v protsess zonirovaniya zemel' na primere Voronezhskoy oblasti* [Implementing ecological network in the process of land: case study for Voronezh region]. *Na puti k ustoychivomu razvitiyu* [On the way to sustainable development], 2001, no. 7 (18), pp. 23–25.
- [25] Brylev V.A., Ryabinina N.O. *Landshaftno-ekologicheskyy karkas Volgogradskoy oblasti* [Landscape and ecological network of Volgograd region]. *Voprosy stepovedeniya* [Problems of steppe science], 2000, no. 2, pp. 119–124.
- [26] Kornilov A. G. *O strukture ekologicheskogo karkasa Valuykogo rayona Belgorodskoy oblasti* [The structure of the ecological network of Valui district in Belgorod region]. *Problemy regional'noy ekologii* [Problems of regional ecology]. Smolensk, 2009, no. 1, pp. 99–103.
- [27] Ponomarev A.A., Baybakov E.I., Rubtsov V.A. *Ekologicheskyy karkas: analiz ponyatiy* [Ecological network: analysis of concepts]. *Uchenye zapiski Kazanskogo universiteta* [Proceedings of Kazan University], 2012, v. 154, Estestvennye nauki, pp. 228–238.
- [28] Kazakov L.K. *Landshaftovedenie s osnovami landshaftnogo planirovaniya* [Landscape studies with the basics of landscape planning]. Moscow: Izdatel'skiy tsentr «Akademiya», 2008, 336 p.
- [29] The Statistics Portal. Available at: <https://www.statista.com>. (accessed 15.02.2019).
- [30] Tabunshchikov Yu.A., Brodach M.M. *Matematicheskoe modelirovanie i optimizatsiya teplovoy effektivnosti zdaniy* [Mathematical modeling and optimization of thermal efficiency of buildings]. Moscow: AVOK-PRESS, 2002, 194 p.

Authors' information

Toporina Valentina Alekseevna — Cand. Sci. (Geography), Research Scientist of the Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, valya-geo@yandex.ru

Golubeva Elena Il'ynichna — Dr. Sci. (Geography), Professor of the Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, egolubeva@gmail.com

Korol' Tat'yana Olegovna — Cand. Sci. (Geography), Senior Researcher of the Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, t120277@yandex.ru

Received 29.03.2019.

Accepted for publication 18.05.2019.

ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ ПОДХОДЫ К ОЗЕЛЕНЕНИЮ И РЕКОНСТРУКЦИИ НАСАЖДЕНИЙ ДРЕВНЕРУССКИХ МАЛЫХ ГОРОДОВ

В.С. Теодоронский, В.А. Леонова

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

leonovava@bk.ru

Рассмотрены проблемы озеленения и реконструкции древнерусских малых городов, представляющих собой исторические ландшафты, требующие бережного отношения к себе и соблюдения сложившихся национальных традиций. Представлены особенности их развития и современная проблематика малых исторических городов в ландшафтной архитектуре. Приведены теоретические аспекты взаимодействия естественной природы и урбанизированной среды. Проанализированы правовые, нормативные и законодательные документы, касающиеся принципов и приемов озеленения древнерусских малых городов, и на их основании даны рекомендации по реконструкции зеленых насаждений.

Ключевые слова: древнерусские малые города, устойчивое развитие, градостроительный модуль, принципы и подходы озеленения, реконструкция зеленых насаждений

Ссылка для цитирования: Теодоронский В.С., Леонова В.А. Принципиальные подходы к озеленению и реконструкции насаждений древнерусских малых городов // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2019. Т. 23. № 5. С. 79–87. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-5-79-87

«Российская провинция — это туристический Клондайк. В мире существует не много стран, в которых, как в России, сосредоточено богатство памятников архитектуры и редких по красоте ландшафтов. Но только в России сохранилось такое количество исторических городов, не утративших свою самобытность»

Э.А. Шевченко [1]

Сохранение и развитие древнерусских малых городов России является одной из приоритетных государственных задач в целях обеспечения устойчивого развития всей страны. По данным Всероссийской переписи населения 2010 года в Российской Федерации насчитывается 781 малых городов с численностью до 50 тыс. жителей, в которых проживает 25 % населения страны. В значительной их части сосредоточены уникальные памятники культурного и природного наследия и центры культурно-познавательного туризма [2]. Многие древнерусские малые города как наиболее ценные с точки зрения градостроительной планировки отнесены к группе исторических поселений, поскольку представляют собой большую культурную ценность.

Цель работы

Цель работы — проанализировать существующие подходы и разработать принципиальные предложения по озеленению и реконструкции зеленых насаждений территорий древнерусских малых городов.

Материалы и методы

В ходе исследования были изучены литературные источники, проведены графоаналитический анализ исторических и современных проектов

реконструкции ландшафтных объектов древнерусских малых городов за последние два года и визуально-ландшафтный анализ озелененных территорий таких городов, как Зарайск, Галич, Чухлома и Солигалич.

В результате изучения литературных исторических и архивных источников сделан вывод о том, что основа планировки унаследована от Византии. И это, прежде всего, красота как доминанта древнерусского зодчества, а также обязательное сохранение «прозоров» внутри городов на окружающие природные ландшафты и выдающиеся архитектурные объекты; четкое разграничение городской среды на сам город, силуэты и городскую ткань; отсутствие «красной линии» в современном понимании улиц и использование какого-либо градостроительного модуля.

Анализ исторических планов и натурные наблюдения показали, что отсутствие жесткой «красной линии» и узаконенных границ города позволяло стихийно расширять уличное пространство, создавать живописные кулисы, раскрывать перспективы и панорамы на окружающие ландшафты, нарушать монотонность смыкающейся застройки. Именно поэтому старинные русские города столь живописны. Малые древнерусские города задумывались зодчими как города-сады, как бы предназначенные Творцом для жизни человека.

За последние 100 лет, в России дважды изменились государственный строй и общественное мировосприятие, что негативно отразилось на малых и средних древнерусских городах, как на носителях культурных ценностей. Последняя четверть столетия нанесла российской культуре тяжелейший урон. Многие древнерусские города оказались в запустении. Померкла красота архитектурных памятников, на открытых пространствах возникли стихийные заросли древесных насаждений. Поэтому крайне важно восстановить историческую справедливость, используя внутренние резервы и создавая мощный толчок для развития внутреннего туризма.

Последние несколько лет государство стало уделять большое внимание сохранению исторических ландшафтов: создана программа по реконструкции малых древнерусских городов и на лучшие проекты, прошедшие конкурс, выдаются гранты. Инициатива есть и на местах — идет подготовка к участию в конкурсах. В результате анализа конкурсных работ сделан вывод о том, что многие современные архитекторы и чиновники администраций малых городов не владеют знаниями принципов и подходов к озеленению и формированию городских пространств, не учитывают местные исторические и природные особенности. В связи с этим нами собран и обработан весь имеющийся теоретический материал, в котором отражены подходы и принципы озеленения, рекомендованные для реконструкции малых древнерусских городов как носителей культурного кода нашей страны.

На наш взгляд, для любой городской среды характерно наличие *трех уровней* взаимодействия природы и урбанизированной среды:

– *первый уровень* включает в себя формирование городского поселения как элемента глобальной среды, который связан с ним разнообразными влияниями и изменениями;

– *второй уровень* связан с состоянием среды в пределах границ поселения, при этом городская среда может противопоставляться окружающему природному ландшафту;

– *третий уровень* отражает восприятие городскими жителями непосредственного природного окружения, так или иначе влияющего на городскую среду.

Именно на третьем уровне человек непосредственно контактирует с различными природными и искусственными компонентами городской среды, которые определяют смену его состояния и ритм жизни [2].

Важное значение при планировочной организации пространства, реконструкции и сохранении исторической среды древнерусских городов имеют рукотворные озелененные и существующие природные территории.

В малых средневековых городах России должны формироваться определенные пространственные системы озеленения и благоустройства в соответствии с принятыми нормами и правилами, с учетом архитектурно-ландшафтных, инженерных, агротехнологических требований в целях создания благоприятных условий для трудовой деятельности и культурного отдыха населения.

В результате анализа правовых, нормативных и законодательных документов, отражающих принципы и приемы озеленения малых городов, в группу которых входят и древнерусские города [3–6], установлено, что процент озелененной территории малых городов с населением до 50 тыс. жителей в среднем составляет 40...50 % общей площади города, что не соответствует среднему показателю — на одного жителя должно приходиться до 12 м² озелененной территории.

Озеленение малых городов осуществляется на основе проектных предложений генерального плана, согласно которому разрабатывается определенная схема озеленения в виде чертежа с выделением на нем основных озеленяемых территорий с последующей обоснованной аргументацией. Схема озеленения строится с учетом градостроительных факторов, функционально-планировочного зонирования территории города, расположения селитебной и промышленной территории, средств коммуникаций, инженерной инфраструктуры и т. д. [6, 7].

На схеме озеленения указываются озелененные территории, сформированные в определенных системах. Основными структурными элементами системы озеленения являются городской сад, парк, зеленые насаждения улиц, районов жилой застройки, территорий объектов культурного наследия. Они должны органично вписываться в городскую среду, подчеркивать архитектуру зданий, открывать пространство перед историческими зданиями, памятниками архитектуры [1, 6]. Отдельные структурные элементы системы озеленения для малого города должны отвечать основным принципам, таким как, соответствие природным условиям местности, органической взаимосвязи с ценной исторической застройкой и памятниками культурно-исторического наследия, с окружающим ландшафтом.

Выделение определенных *категорий*, или *видов*, озелененных территорий — важное условие создания системы озеленения в малом городе. Прежде всего, это *категории общего пользования* — городской сад, парк, скверы на территории общественного центра и главной площади, пешеходные прогулочные аллеи набережных, бульвары на улицах. К озеленению и благоустройству таких объектов должны предъявляться высокие требования по ландшафтно-архитектурному

проектированию, реализации, содержанию их и их конструктивных элементов — насаждений, малых архитектурных форм, дорожных покрытий. Большое значение при этом имеют подбор и применение ассортимента древесных и травянистых растений, соответствующих природным условиям и устойчивых к воздействию антропогенных факторов, а также прочные декоративные материалы для малых архитектурных форм и дорожных покрытий.

К следующей категории относят объекты *ограниченного пользования* в жилой малоэтажной застройке в виде дворов-садов, придомовых полос озеленения, участков детских садов и школ, территорий объектов обслуживания населения. К этим объектам имеются свои ограничения и требования, относящиеся к их функциям, и выступающих в качестве лимитирующих факторов, таких, как высотность зданий и сооружений, система коммуникаций, инсолируемость территории, наличие подземных элементов. Значение также имеет выбор оборудования и особенно ассортимента древесных и травянистых растений.

Далее выделяют категорию объектов *специального назначения*: озелененные территории санитарно-защитных зон; водоохраные; мелиоративные насаждения; кладбища; защитные насаждения вдоль автомобильных и железных дорог; питомники; цветочно-оранжерейные хозяйства.

В отдельную категорию выделяют *особо охраняемые природные территории* (ООПТ), *объекты культурного и исторического наследия*: парки — памятники садово-паркового искусства; объекты, имеющие особое научное, культурное, эстетическое, рекреационное и оздоровительное значение, которые изъяты решениями органов государственной власти полностью или частично из хозяйственного использования и для которых установлен режим особой охраны. К данной категории относятся: национальные парки; санитарно-курортные, оздоровительные учреждения; парки, пляжи, размещаемые при водохранилищах в соответствии со специальным режимом ограниченного пользования; территории, на которых расположены ценные экосистемы (лесные, луговые, болотные, водные и др.) с преобладанием местных видов растений и животных, свойственных данному природному сообществу, и характеризующиеся определенной динамикой развития [8].

В *малых городах* с населением до 50 тыс. жителей селитебная территория практически не разделена на крупные жилые районы, общегородской центр находится довольно близко от жилья, часто в пределах пешеходной доступности (до 1,5 км). Загородные объекты озеленения также расположены недалеко от селитебной территории. Со-

гласно социологическим исследованиям, в малых городах посещаемость городского парка относительно невелика (4...5 % жителей), поскольку для отдыха горожане широко используют окрестности города — лес, озеро, речку, ручей. К тому же население малых городов имеет возможность и летом и зимой отдыхать как в самом городе, так и за его пределами. Местоположение парка — основного элемента системы городского озеленения может быть центричным или периферийным, вследствие небольших расстояний от жилья [2, 9].

На основании изученного опыта в градостроительном контексте нами изложены общие принципы организации системы озеленения и размещения отдельных объектов в малом городе:

1) установление *взаимосвязей* озелененных территорий *и их непрерывность* с природными пространствами вне городской черты с включением в них лугов, пойм рек, водоемов, лесов, природных сообществ;

2) установление специальных *режимов пользования* для сакральных комплексов, мемориалов, памятников садово-паркового искусства;

3) развитие удобной сети дорог с автостоянками, рациональным размещением мест отдыха, обеспечением визуального восприятия памятников историко-культурного наследия;

4) сохранение *зеленых насаждений*, оптимальных и экологически устойчивых по своей структуре, видовому и возрастному составу, ассортименту на объектах различных категорий;

5) проведение системы строго дифференцированных мероприятий по содержанию и уходу за зелеными насаждениями на объектах различных категорий.

Результаты и обсуждение

По существу, построение системы озелененного пространства для малого города, в том числе древнерусского, должно превратить его в город-сад. Идея российского города-сада уходит в древние времена, однако в настоящее время, в эпоху урбанизации, такая идея особенно своевременна и актуальна. Первыми предпосылками для этого послужили градостроительные мероприятия по расселению разрастающихся европейских городов-гигантов — Большого Лондона, Большого Парижа, Берлина. Английский писатель-социалист Э. Говард в конце XIX в. предложил планетарную систему городов-садов — спутников Лондона (рисунок). В начале XX в. архитектор В.Н. Семенов предложил проект малого города-сада — поселения в Подмоскowie, вдоль Рязанской железной дороги (станция Прозоровка).

При проведении реконструкции озелененных территорий существенное значение имеет *состояние зеленых насаждений*. Многочисленные



а



б



в

Фрагменты структурных элементов города-сада Лечворс (зарубежный опыт, реализация по Э. Говарду):

а — объемно-пространственная структура озеленения центра города; б — пример сохранения исторической застройки; в — благоустройство и озеленение территории малоэтажной застройки

Structural elements fragments of the garden city Lechvors (foreign experience, implementation according to E. Howard):

а — spatial and spatial structure of landscaping of the city center; б — an example of historical buildings preservation; в — landscaping and greening of low-rise buildings area

наблюдения по различным исследовательским программам показали, что древесные насаждения часто представляют собой наслоения различных временных периодов, вызывая зарастание открытого пространства, влияя тем самым на режим его освещенности. В частности, при высоком уровне затененности отсутствует травяной покров вследствие его отмирания. В результате пространственные характеристики озеленяемого объекта ухудшаются, и он утрачивает свои эстетические качества. Все это подчеркивает важность реконструкции зеленых насаждений в малых исторических городах.

Наблюдения в малых древнерусских городах показали, что озелененные территории различных категорий, созданные в советский период, имеют серьезные недостатки: занимают большие не используемые площади; излишне многопрофильны; перегружены зданиями и сооружениями, которые размещены без соблюдения принципов зонирования. Малые архитектурные формы, парковые сооружения, элементы наглядной агитации на этих территориях морально и физически устарели. Все это губительно влияет на комфортность среды и создание благоприятных условий для отдыха населения малого исторического города.

Таким образом, актуальность приобретают научно обоснованные работы по реконструкции зеленых насаждений.

К пространству малых древнерусских городов, которые всегда были вписаны в окружающий их ландшафт и являлись наиболее яркой и выразительной его частью, можно применять разработанные подходы к реконструкции парковой среды. По нашему мнению, работы по реконструкции зеленых насаждений следует проводить в соответствии с общими принципами ландшафтно-архитектурной композиции и правилами формирования планировочной структуры объекта комплексно, т. е. параллельно с другими мероприятиями.

Реконструктивные работы должны понимать специалисты всех административных уровней. Кроме того, озеленительные мероприятия для больших городов с многоэтажной застройкой могут оказаться губительными для исторической среды городов с одно-, двух- и трехэтажной застройкой. Поэтому при реконструкции насаждений в древнерусских городах необходима тщательная оценка имеющихся насаждений, выявление хаотичных уличных посадок деревьев, не соответствующих по габитусу крон и ростовым показателям.

Анализ территорий исторических центров древнерусских городов средней полосы России: Зарайска, Галича, Чухломы, Солигалича показал, что в уличных посадках использовались деревья первой и второй величины: береза, липа, тополь, ясень, клен, ель. Все деревья были примерно 15–20 метровой высоты, и исторически ценная архитектурная застройка оказалась в их тени. К тому же отрицательным примером может служить неграмотная обрезка крон деревьев на улицах на высоте 5–6 м, на которой, как правило, располагается воздушный осветительный электрокабель, проходящий через кроны деревьев. В итоге улицы изуродованы «обрубками» деревьев.

Реконструкция зеленых насаждений — сложный, многогранный и во многом индивидуальный процесс, требующий разработки специальных проектов, выполнения технологических работ в полном объеме на квалифицированном уровне.

На практике наиболее распространена *частичная* или *полная ландшафтная реконструкция древесных насаждений* с сохранением функционального назначения и планировочной основы самого объекта. Этот вид реконструкции проводят, если функциональная направленность парка, зонирование и содержание зон, архитектурно-планировочная организация и элементы благоустройства парковой среды удовлетворяют запросам посетителей и запросам города [10–20].

Рекомендации. При реконструкции насаждений необходимо учитывать следующие основные принципы:

– оптимальное сочетание планировочной и структурной организации древесных насаждений их выполняемым функциям;

– зонирование территории по степени использования и непрерывность озелененных пространств;

– взаимное влияние города и его зеленых насаждений, постоянное развитие озелененных пространств [2, 4, 10].

Нами разработаны самые необходимые мероприятия по реконструкции зеленых насаждений в малых древнерусских городах, которые в общем виде можно представить следующими положениями.

Основные мероприятия:

– санитарно-профилактические, направленные на сохранение оставшихся ценных экземпляров растений;

– рубка малоценных деревьев и кустарников;

– посадка и досадка новых экземпляров деревьев и кустарников;

– восстановление и создание новых газонов и цветников;

– формирование опушек и полей.

Все мероприятия следует проводить в соответствии с проектом реконструкции, который устанавливает обязательную очередность работ. Реконструкцию лучше начинать с самых посещаемых мест и заканчивать восстановлением насаждений по периметру.

Санитарно-профилактические рубки рекомендуется проводить в целях удаления поврежденных, угнетенных, сухостойных деревьев и кустарников, которые вследствие пониженной жизнедеятельности подвергаются нападению вредителей или поражаются болезнями и представляют собой очаги заражения для здоровых растений. Пораженные сухостойные деревья, группы или массивы обычно не подлежат лечению и удаляются.

Посадка и «досадка» новых экземпляров деревьев и кустарников проводится в целях создания и образования небольших рощ, групп, куртин, растительных гнезд и т. п.; одиночные — для создания декоративно-выразительного акцента в пейзаже. В практике ландшафтной реконструкции чаще всего рубки и посадки осуществляются в комплексе [3].

Практические мероприятия по реконструкции насаждений определяются состоянием объекта озеленения и его планировочных элементов, количеством растений на единицу озелененной площади, их композицией и размещением в зонах влияния подземных сетей и коммуникаций,

общей задачей композиционно-планировочного решения.

Практические работы по реконструкции необходимо осуществлять поэтапно и в соответствии с проектом организации работ.

Первый этап:

1) проведение уборки территории от мусора и грязи, остатков строительных материалов, усохших и зараженных вредителями и болезнями деревьев и кустарников;

2) удаление деревьев, произрастающих в зонах влияния подземных коммуникаций и вблизи зданий и сооружений (когда корневая система находится ближе, чем 1,5 м от створа сетей и в 5 м от стен зданий).

Второй этап:

1) формирование насаждений и восстановление утраченных ими функций, повышение эстетической привлекательности;

2) омолаживающая обрезка крон, разреживание загущенных растительных группировок, осветление отдельных экземпляров и групп растений, удаление отдельных растений нежелательных видов, посадка и пересадка растений, повышение плодородия почвы.

Обрезка крон древесных растений проводится для стимулирования и пробуждения спящих почек в кроне, развития новых побегов, ветвей. Омолаживающую обрезку хорошо переносят *ивы*, *тополя*, *вязы*, *клен ясенелистный*, *ясени*, а из хвойных видов — *ель колючая* (перед началом вегетации). Обрезку ветвей кроны необходимо совмещать с обрезкой корней. Корни обрезают при окапывании дерева траншеей шириной 30...40 см и глубиной 40...60 см. Ближняя (внутренняя) сторона траншеи должна быть расположена от ствола на расстояние, равное 10-кратному диаметру ствола. Обрезать корни следует постепенно, подрезая ежегодно 1/3–1/2 часть корневой системы. После удаления части корневой системы проводят зачистку оставшихся корней, траншеей засыпают удобренной землей и поливают. Такие растения рекомендуется 2–3 раза полить раствором биологически активных веществ, стимулирующего действия. Переросшие кустарники обрезают путем «посадки на пень». При этом привитые кустарники обрезают на высоте 10...19 см от места прививки. Не привитые кустарники, основные осевые побеги которых вырастают быстро (*спирея*, *лапчатка*, *бузина*, *шиповник*, *рябинник*, *пузыреплодник*, *жимолист*, *чубушник*) обрезают на высоте 10...15 см от корневой шейки, так как их возобновление происходит (за исключением *шиповников*) только от стеблевой поросли.

Кустарники с многолетними скелетными ветвями (*смородина*, *терн*, *калина*, *сирень*, *карагана*) образуют как стеблевую, так и корневую поросль,

и обрезку их можно проводить с оставлением пеньков высотой 10...15 см. Более долговечные кустарники (*ирга, кизильник, миндаль, вишня войлочная*) образуют практически только корневую поросль, и обрезку старых стволиков следует проводить до основания; а часть молодых стволиков «сажается на пень». Омолаживают большинство кустарников весной; но *чубушники, жимолость* можно обрезать после окончания цветения.

Омолаживание красивоцветущих кустарников осуществляют с помощью выборочного вырезания стареющих побегов через каждые 2–3 года. При реконструкции насаждений можно омолаживать не только отдельные растения, но и насаждение в целом. Своевременное удаление старых распадающихся деревьев и кустарников из насаждения будет способствовать улучшению светового, пищевого и водного режимов для оставшихся растений. К тому же это уменьшит опасность их заражения вредителями и избавит от возможных болезней. Удаление старых и больных растений может сопровождаться досадкой молодых и здоровых экземпляров. В ряде случаев необходимо проводить мероприятия по разреживанию древостоев и осветлению отдельных экземпляров или групп. Важно учитывать их *возрастную изменчивость* и *зону «кроновой конкуренции»* (не менее чем на 2 м от ствола растения). Кроны растений должны только касаться ветвями друг друга и ни в коем случае не проникать ветвями более чем на 1/3 своего радиуса.

Осветление древесных растений осуществляется путем выборки, удаления или пересадки части растений в целях освобождения пространства вокруг ценных экземпляров деревьев или кустарников и притока к ним световой энергии. Положительное влияние осветления проявляется уже в первый вегетационный период. Для получения необходимого верхнего и бокового уровня освещенности для ценных растений удаляются менее ценные экземпляры, угнетающие их рост и развитие. При осветлении следует ориентироваться на деревья будущего насаждения, отбирать для этого наиболее здоровые и жизнеспособные, правильно сформированные растения. Наилучшим периодом осветления насаждений считается момент, когда полог еще полностью не сомкнулся или только начал смыкаться. В это время практически каждое растение декоративно и находится в хорошем состоянии: крона развита равномерно и ветвление начинается достаточно низко. Все менее декоративные растения, предназначенные к уборке, можно использовать для пересадки на другие объекты [3].

Выводы

Для создания насаждений, устойчивых к воздействию факторов антропогенной среды не-

обходимо использовать местные или хорошо акклиматизированные виды деревьев и кустарников, выращиваемые в пригородных или городских питомниках. Деревья являются важнейшим долговечным элементом садово-паркового ландшафта и составляют его основу. Декоративные кустарники играют подчиненную роль, являются сопутствующими компонентами, которые подчеркивают композицию тех или иных участков. Ассортимент насаждений древесных видов условно можно подразделить на 3 группы: основной, дополнительный и садово-декоративный.

К основному ассортименту растений I класса (или ландшафтно-паркообразующему) относят устойчивые хорошо зарекомендовавшие себя в озеленении виды местных растений: *береза повислая, клен остролистный, липы мелколистная и крупнолистная, лиственницы сибирская и европейская, ива белая, вяз гладкий, ясень обыкновенный, тополь гибридный, дуб черешчатый*. К основному ассортименту можно отнести хорошо акклиматизированные виды: *конский каштан, дуб красный, орех маньчжурский, ель колючую*. Перечисленные виды растений относятся к первому классу возрастной категории, достигают высоты 15–20 м и могут использоваться для куртин, в группах городских парков. Однако в общественных центрах, где имеются исторически ценные архитектурные сооружения, их следует применять с осторожностью, поскольку они своими объемами могут их закрыть.

К дополнительному ассортименту растений II класса по высоте относят: *рябину обыкновенную, черемуху виргинскую, вишню пенсильванскую; яблоню домашнюю, грушу уссурийскую, разные виды боярышников* и другие кустарники. Эти растения могут играть как подчиненную роль в композиции, дополняя массив и куртину в парке, так и быть вполне самостоятельными, участвуя в посадках на улицах в виде рядов или групп на открытых участках.

К садово-декоративному ассортименту III класса по высоте относят растения, имеющие значение для формирования микроландшафтов и отдельных участков жилой территории придомовых полос, площадок отдыха, пересечения дорожек и т. п. К растениям указанной категории можно отнести декоративно-лиственные и красивоцветущие *яблони сливолистную и обильноцветущую, яблоню Недзвецкого*, кустарники: *разные виды, формы и сорта спирей, дерена, сирени* и др. К данной группе можно также отнести: хвойные растения различных форм — *тую западную* формы зонтиковидную, шарообразную, колонновидную, пирамидальную, золотистую; *ель канадскую* форму коническую и разные виды *можжевельников*.

Наиболее устойчивыми видами кустарников, хорошо акклиматизированными в условиях Москвы и Подмосковья, являются *сирень обыкновенная и венгерская, карагана древовидная (формы Лорберга и Пендула), дерен белый, кизильник блестящий, барбарис обыкновенный и Тунберга, боярышники (кустовая форма), спирей* и другие виды с высокой степенью морозостойкости. Использование предлагаемых видов растений позволяет обеспечить декоративный эффект в течение всего сезона. Зимой декоративность поддерживается хвойными и лиственными видами с окрашенными ветвями и побегами (*дерен белый*). В осенний период интересна окраска листьев (*клен Гиннала, кизильник блестящий*), а в весенне-летнее время декоративность обеспечивает цветение *сирени, чубушника, спирей*, или окраска листьев *разных форм барбарисов* [2, 4, 11].

Список литературы

- [1] Шевченко Э.А. Об исторических поселениях, недвижимых объектах наследия и градостроительных проблемах охраны наследия. СПб.: Зодчий, 2018. 368 с.
- [2] Залеская Л.С., Микулина Е.М. Ландшафтная архитектура. М.: Стройиздат, 1979. С. 5, 6.
- [3] Бондарь Ю.А., Абессимова Н.П., Никитина Е.Н., Сахаров А.Ф. Ландшафтная реконструкция городских садов и парков. Киев: Будивельник, 1982. 60 с.
- [4] Методическое руководство и технические условия по реконструкции городских зеленых насаждений. М.: ПРИМА-М, 2002. 58 с.
- [5] Рекомендации по проектированию улиц и дорог городов и сельских поселений. М.: ЦНИИП градостроительства, 1994. 89 с.
- [6] Свод правил СП 42.13330.2016 «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений» Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89* (утверждено приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 30 декабря 2016 г. № 1034/пр.). URL: <http://dokipedia.ru/document/5340920> (дата обращения 12.12.2017).
- [7] Турчинская Т.Н. Типы зеленых насаждений города и поселках // Озеленение городов. Сборник статей / ред. Н.К. Вехов. М.: Издательство Министерства коммунального хозяйства РСФСР, 1954. С. 311–319.
- [8] Регламент, разработанный в соответствии с постановлением Правительства Москвы от 10.09.2012 № 743-ПП «Об утверждении Правил создания, содержания и охраны зеленых насаждений города Москвы». URL: http://www.mos.ru/.../normativno_proizvodstvennyy_reglament_meropriyatiy_po (дата обращения 04.05.2019).
- [9] Рекомендации «круглого стола» на тему «Историко-культурное наследие как ресурс социально-экономического развития малых городов России», Комитета СФ по науке, образованию и культуре. Москва, 24 октября 2016 года. URL: http://science.council.gov.ru/activity/activities/round_tables/74000/ (дата обращения 04.05.2019).
- [10] Методика инвентаризации городских зеленых насаждений. URL: <http://www.amas.md/Biblioteca/data/29/09/07.2.pdf> (дата обращения 12.20.2018).
- [11] Архитектурная композиция садов и парков / ред. А.П. Вергунов. М.: Стройиздат, 1980. 254 с.
- [12] Правила создания, охраны и содержания зеленых насаждений в городах Российской Федерации. URL: http://www.infosait.ru/norma_doc/47/47184/index.htm (дата обращения: 26.12.2018).
- [13] Боговая И.О. Теодоронский В.С. Озеленение населенных мест. СПб.: Лань, 2014. 240 с. URL: <http://e.lanbook.com/book/3905> (дата обращения 20.12.2018).
- [14] Вергунов А.П., Денисов М.Ф., Ожегов С.С. Ландшафтное проектирование. М.: Высшая школа, 1991. 240 с.
- [15] Гостев В.Ф., Юскевич Н.Н. Проектирование садов и парков. СПб.: Лань, 2016. 344 с. URL: <http://e.lanbook.com/book/76826> (дата обращения 20.12.2018).
- [16] Теодоронский В.С., Боговая И.О. Ландшафтная архитектура с основами проектирования. М.: Форум, 2016. 304 с.
- [17] Рекомендации по проектированию улиц и дорог городов и сельских поселений. М.: ЦНИИП Градостроительства, 1994. 89 с.
- [18] ГОСТ 28329–89 Государственный стандарт Союза ССР. Озеленение городов. Термины и определения. URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-28329-89> (дата обращения 26.12.2018).
- [19] Градостроительный кодекс РФ (с изменениями от 19 декабря 2016 года). URL: <http://docs.cntd.ru/document/gradostroitelnyj-kodeks-rf-grk-rf> (дата обращения 26.12.2018).
- [20] СанПиН 2.2.1/2.1.1.2361–08. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2008. 55 с.

Сведения об авторах

Теодоронский Владимир Сергеевич — д-р. с-х. наук, действ. член РАЕН, член Союза архитекторов России, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал)

Леонова Валентина Алексеевна — канд. с-х. наук, доцент кафедры ландшафтной архитектуры и садово-паркового строительства МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), leonovava@bk.ru

Поступила в редакцию 09.07.2019.

Принята к публикации 09.09.2019.

PRINCIPAL APPROACHES TO GREENING AND RECONSTRUCTION OF PLANTATIONS IN SMALL ANCIENT RUSSIAN CITIES

V.S. Theodoronsky, V.A. Leonova

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

leonovava@bk.ru

The article deals with the problems of gardening and reconstruction of small Ancient Russian cities, which are historical landscapes and require careful treatment of them and respect for national traditions. The questions of the historical development of small historical cities of Russia, their features and contemporary problems in the field of landscape architecture are considered. The theoretical positions of the interaction of natural factors and urbanized environment are given. Analyzed a number of legal, regulatory and legislative documents regarding the principles and techniques of landscaping small historical cities and on their basis gives recommendations for the reconstruction of green spaces.

Keywords: small Ancient Russian cities, sustainable development, urban planning module, principles and approaches of greening, reconstruction of green spaces

Suggested citation: Theodoronsky V.S., Leonova V.A. Printsipial'nye podkhody k ozeleneniyu i rekonstruktsii nasazhdeniy drevnerusskikh malykh gorodov [Principal approaches to greening and reconstruction of plantations in small ancient Russian cities]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2019, vol. 23, no. 5, pp. 79–87. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-5-79-87

References

- [1] Shevchenko E.A. *Ob istoricheskikh poseleniyakh, nedvizhimykh ob'ektakh naslediya i gradostroitel'nykh problemakh okhrany naslediya* [About historical settlements, immovable heritage objects and town-planning problems of heritage protection]. St. Petersburg: Zodchiy, 2018, 368 p.
- [2] Zalesskaya L.S., Mikulina E.M. *Landshaftnaya arkhitektura* [Landscape architecture]. Moscow: Stroyizdat, 1979, pp. 5-6.
- [3] Bondar' Yu.A., Abessinova N.P., Nikitina E.N., Sakharov A.F. *Landshaftnaya rekonstruktsiya gorodskikh sadov i parkov* [Landscape reconstruction of city gardens and parks]. Kiev: Budivelnik, 1982, 60 p.
- [4] *Metodicheskoe rukovodstvo i tekhnicheskie usloviya po rekonstruktsii gorodskikh zelenykh nasazhdeniy* [Methodological guidance and technical specifications for the reconstruction of urban green spaces]. Moscow: PRIMA-M, 2002, 58 p.
- [5] *Rekomendatsii po proektirovaniyu ulits i dorog gorodov i sel'skikh poseleniy* [Recommendations for the design of streets and roads of cities and rural settlements]. Moscow: Central Research Institute of Urban Planning, 1994, 89 p.
- [6] *Svod pravil SP 42.13330.2016 «Gradostroitel'stvo. Planirovka i zastroyka gorodskikh i sel'skikh poseleniy» Aktualizirovannaya redaktsiya SNIp 2.07.01–89* (utv. prikazom Ministerstva stroitel'stva i zhilishchno-kommunal'nogo khozyaystva RF ot 30 dekabrya 2016 g. N 1034/pr.)* [Code of rules SP 42.13330.2016 «Urban planning. Planning and development of urban and rural settlements» Updated version of SNIp 2.07.01–89* (approved by the order of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation of December 30, 2016 N 1034 / pr.)]. Available at: <http://dikipedia.ru/document/5340920> (accessed 12.12.2017).
- [7] Turchinskaya T.N. *Tipy zelenykh nasazhdeniy goroda i poselkakh* [Types of green spaces of the city and towns] *Ozelenenie gorodov. Sbornik statey* [Greening the cities. Collection of articles] Ed. N.K. Milestones. Moscow: Ministry of the RSFSR communal farm, 1954, pp. 311–319.
- [8] *Reglament, razrabotanny v sootvetstvi s postanovleniem Pravitel'stva Moskvy ot 10.09.2012 № 743-PP «Ob utverzhdenii Pravil sozdaniya, soderzhaniya i okhrany zelenykh nasazhdeniy goroda Moskvy»* [The regulation developed in accordance with the decree of the Government of Moscow dated 10.09.2012 No. 743-PP «On the approval of the Rules for the creation, maintenance and protection of green spaces of the city of Moscow»]. Available at: http://www.mos.ru/.../normativno_proizvodstvennyy_reglament_meropriyatiy_po_is (accessed 04.05.2019).
- [9] *Rekomendatsii «kruglogo stola» na temu «Istoriko-kul'turnoe nasledie kak resurs sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya malykh gorodov Rossii», Komiteta SF po nauke, obrazovaniyu i kul'ture* [Recommendations of the round table on the topic «Historical and Cultural Heritage as a Resource of the Socio-Economic Development of Small Cities of Russia», Federation Council Committee on Science, Education and Culture]. Moscow, October 24, 2016. Available at: http://science.council.gov.ru/activity/activities/round_tables/74000/ (accessed 04.05.2019).
- [10] *Arkhitekturnaya kompozitsiya sadov i parkov* [The architectural composition of gardens and parks]. Ed. A.P. Vergunov. Moscow: Stroyizdat, 1980, 254 p.
- [11] *Pravila sozdaniya, okhrany i soderzhaniya zelenykh nasazhdeniy v gorodakh Rossiyskoy Federatsii* [Rules for the creation, protection and maintenance of green spaces in the cities of the Russian Federation]. Available at: http://www.infosait.ru/norma_doc/47/47184/index.htm (accessed 12.26.2018).
- [12] *Metodika inventarizatsii gorodskikh zelenykh nasazhdeniy* [Inventory methodology of urban green spaces]. Available at: <http://www.amac.md/Biblioteca/data/29/09/07.2.pdf> (accessed 12.20.2018).
- [13] Bogovaya I.O. Teodoronskiy V.S. *Ozelenenie naseleennykh mest* [Landscaping of populated areas]. St. Petersburg: Lan', 2014, 240 p. Available at: <http://e.lanbook.com/book/3905> (accessed 12.20.2018).
- [14] Vergunov A.P., Denisov M.F., Ozhegov S.S. *Landshaftnoe proektirovanie* [Landscaping]. Moscow: Higher school, 1991, 240 p.
- [15] Gostev V.F., Yuskevich N.N. *Proektirovanie sadov i parkov* [Design of gardens and parks]. St. Petersburg: Lan', 2016, 344 p. Available at: <http://e.lanbook.com/book/76826> (accessed 12.20.2018).

- [16] Teodoronskiy V.S., Bogovaya I.O. *Landshaftnaya arkhitektura s osnovami proektirovaniya* [Landscape architecture with the basics of design]. Moscow: Forum, 2016, 304 p.
- [17] *Rekomendatsii po proektirovaniyu ulits i dorog gorodov i sel'skikh poseleniy* [Recommendations for the design of streets and roads of cities and rural settlements]. Moscow: Central Research Institute of Urban Planning, 1994, 89 p.
- [18] *GOST 28329–89 Gosudarstvennyy standart Soyuza SSR. Ozelenenie gorodov. Terminy i opredeleniya* [GOST 28329–89 State standard of the USSR. Gardening of cities. Terms and Definitions]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/gost-28329-89> (accessed 12.26.2018).
- [19] *Gradostroitel'nyy kodeks RF (s izmeneniyami na 19 dekabrya 2016 goda)* [Town-planning code of the Russian Federation (as amended on December 19, 2016)]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/gradostroitelnyj-kodeks-rf-grk-rf> (accessed 12.26.2018).
- [20] *SanPiN 2.2.1/2.1.1.2361–08* [SanPiN 2.2.1 / 2.1.1.2361–08]. Moscow: Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor, 2008, 55 p.

Authors' information

Theodoronsky Vladimir Sergevich — Dr. Sci. (Agricultural), Acting Member of the Russian Academy of Natural Sciences, Member of the Union of Architects of Russia, Professor of the BMSTU (Mytishchi branch)

Leonova Valentina Alekseevna — Cand. Sci. (Agricultural), Associated Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), leonovava@bk.ru

Received 09.07.2019.

Accepted for publication 09.09.2019.

СИСТЕМА ПЛАВУЧИХ МАШИН ДЛЯ ПОДЪЕМА ЗАТОНУВШЕЙ ДРЕВЕСИНЫ И ПЕРЕРАБОТКИ ЕЕ НА БИОТОПЛИВО

С.П. Карпачев, В.И. Запруднов, М.А. Быковский

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

karpachevs@mail.ru

Рассмотрена система плавучих машин для подъема и переработки на дрова затонувшей древесины. Проведено имитационное моделирование и представлена технология работы системы плавучих машин одной стоянке. Разработана математическая модель технологического процесса. Приведены некоторые результаты экспериментов, показавшие, что можно отказаться от промежуточной баржи для приема бревен, достаточно использовать только приемный стол на 20...40 бревен для сглаживания неравномерности их подачи. Получена зависимость часовой производительности топлякоподъемного агрегата и производительности процессора от числа барж, что согласуется с данными загрузки оборудования. Показано, что производительность системы по транспортировке дров с ростом числа барж возрастает и при наличии 8...10 барж приближается к производительности при остальных операциях.

Ключевые слова: плавучая система машин, затонувшая древесина, дрова, имитационное моделирование

Ссылка для цитирования: Карпачев С.П., Запруднов В.И., Быковский М.А. Система плавучих машин для подъема затонувшей древесины и переработки ее на биотопливо // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2019. Т. 23. № 5. С. 88–94. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-5-88-94

На лесосплавных реках очистка от топляков проводится специальным судном — плавучим краном ЛС-41 (рис. 1), которое может осуществлять только подъем древесины из воды, что и составляет его основной недостаток, поскольку переработка поднятой древесины в полезную продукцию не предусмотрена. Предлагаем перерабатывать поднятую древесину системой плавучих машин на дрова для нужд биоэнергетики [5, 7–20]. Для этого необходимо дополнить известное судно специальным плавучим устройством — древокольным процессором, который раскряжевывает бревна на коротыши и раскалывает их на поленья. Кроме этого, в состав системы плавучих машин можно включить специальные баржи для приема и транспортировки бревен и дров.

Цель работы

Работа посвящена рассмотрению системы плавучих машин для подъема затонувшей древесины и переработки ее на дрова, в состав которой входят четыре типа специальных судов (рис. 2).

Материалы и методы

Рассматриваемая в работе система плавучих машин отличается технологической гибкостью за счет возможности различных сочетаний и компоновки судов.

Возможные сочетания и размещения плавучих машин в акватории водоема можно свести к двум:

- 1) ТПА и ППД размещаются на общей стоянке;
- 2) ТПА и ППД размещаются на разных стоянках.

По первой технологической схеме (рис. 3) ТПА (1) работает совместно с ППД (3). Для сгла-



Рис. 1. Топлякоподъемное судно для сбора затонувшей древесины ЛС-41

Fig. 1. Log salvage vessel for collecting sunken wood LS-41

живания неравномерности подачи бревен между ТПА и ППД может размещаться баржа-площадка для приема бревен (2). Готовые дрова грузят на баржу-площадку (4) в сетчатые емкости (11) навалом для обеспечения их проветривания и воздушной сушки.

Известна и вторая технологическая схема: ТПА (1) работает отдельно от ППД (3), т. е. совместно с баржей-площадкой для приема и транспортировки поднятых из воды бревен (2), а ППД — с баржей-площадкой для приема и транспортировки дров.

Рассмотрим и исследуем первую технологическую схему (см. рис. 3). Поднятые манипулятором (5) ТПА из воды бревна грузят в накопитель (6), где их отмывают от ила и минеральных частиц.

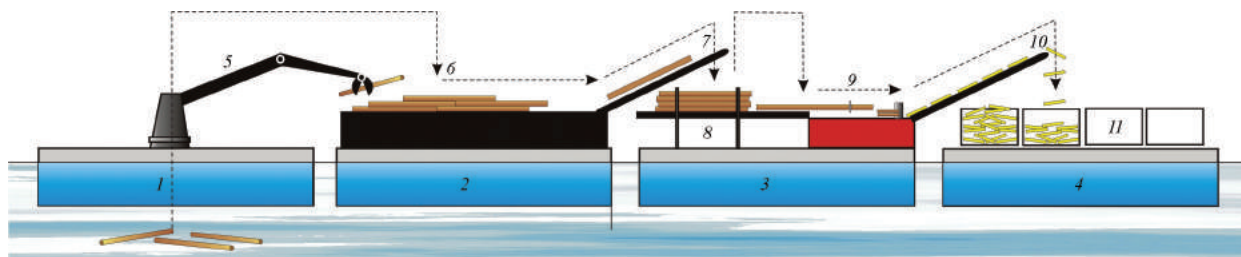


Рис. 2. Плавучая система машин для подъема и переработки на дрова затонувшей древесины: 1 — плавучий топлякоподъемный агрегат (ТПА) с манипулятором (5); 2 — баржа-площадка для приема и транспортировки поднятых из воды бревен с накопителем (6) и конвейером (7); 3 — плавучий процессор для переработки бревен на дрова (ППД) с приемным столом (8), процессором для раскряжевки и расколки бревен на дрова (9) и конвейером (10); 4 — баржа-площадка для переработки бревен на дрова с сетчатыми емкостями для дров (11)

Fig. 2. A floating system of machines for lifting and processing sunken wood for firewood: 1 — a floating log salvage unit (ТПА) with a manipulator (5); 2 — a barge-platform for receiving and transporting logs raised from the water with a stocker (6) and a conveyor (7); 3 — a floating processor for processing logs for firewood (ППД) with a receiving table (8), a processor for bucking and splitting logs for firewood (9) and a conveyor (10); 4 — barge-platform for processing logs for firewood with mesh containers for firewood (11)

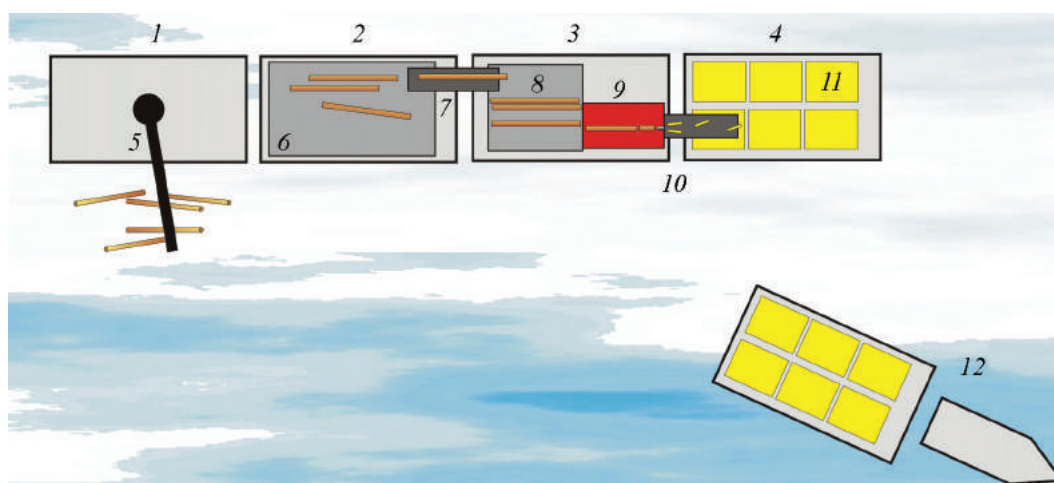


Рис. 3. Технологическая схема подъема и переработки на дрова затонувшей древесины, когда плавучий ТПА и ППД размещаются на общей стоянке: 1 — плавучий ТПА с манипулятором (5); 2 — баржа-площадка для приема и транспортировки поднятых из воды бревен с накопителем (6) и конвейером (7); 3 — плавучий ППД с приемным столом (8), процессором для раскряжевки и расколки бревен на дрова (9) и конвейером (10); 4 — баржа-площадка для переработки бревен на дрова (4) с сетчатыми емкостями для дров (11) и буксировка баржи-площадки с дровами (12) потребителю

Fig. 3. The technological scheme of lifting and processing sunken wood for firewood, when floating TPA and PPD are placed in a common parking: 1 — floating TPA with a manipulator (5); 2 — a barge-platform for receiving and transporting logs raised from the water with a drive (6) and a conveyor (7); 3 — floating RPM with a receiving table (8), a processor for bucking and splitting logs into firewood (9) and a conveyor (10); 4 — a barge-platform for processing logs for firewood (4) with mesh containers for firewood (11) and towing a barge-platform with firewood (12) to a consumer

После этого конвейером (7) подают на приемный стол ППД (8), где поштучно выдают на раскряжевку и расколку на дрова. Дрова конвейером (10) загружают в сетчатые емкости (11).

После загрузки всех сетчатых емкостей дровами баржа-площадка (4) за тягой буксировщика направляется потребителю.

В представленной технологии (см. рис. 3) основным оборудованием являются ППД и ТПА. Баржа-площадка для приема и транспортировки

поднятых из воды бревен (2) выполняет функцию межоперационного накопителя для сглаживания неравномерной подачи бревен от ТПА к процессору (9). Приемный стол (8) перед процессором предназначен для поштучной подачи бревен к процессору и дополнительно выполняет работу как межоперационный накопитель.

Эффективность работы предложенной системы плавучих машин исследовалась на математических моделях [1–6].

Рассмотрим математическую модель работы системы плавучих машин по первой технологии (см. рис. 3) и результаты имитационных экспериментов.

В модели время циклов работы всех специальных судов будем считать случайными величинами, распределенными по экспоненциальному закону.

Работа ТПА

Часовую производительность ТПА на подъеме бревен из воды можно определить по формуле

$$П_{\text{час1}} = \frac{3600q_{\text{пач}}}{T_{\text{ц1}}}, \quad (1)$$

где $q_{\text{пач}}$ — объем пачки бревен, поднимаемых манипулятором ТПА, м^3 ;

$T_{\text{ц1}}$ — время цикла подъема и погрузки бревен на баржу пачки бревен, с.

Время $T_{\text{ц1}}$ (с), затрачиваемое ТПА на выполнение операций по подъему и выгрузке бревен, определи по формуле

$$T_{\text{ц1}} = t_{\text{подъем}} + t_{\text{погр}}, \quad (2)$$

где $t_{\text{подъем}}$ — время на подъем бревен из воды;

$t_{\text{погр}}$ — время на погрузку бревен на баржу-площадку.

Работа баржи-площадки для приема и транспортировки поднятых из воды бревен

Часовая производительность баржи будет равна производительности ТПА. Ограничителем работы баржи является ее грузоподъемность, выраженная в метрах кубических.

Работа ППД

Часовая производительность ППД по производству дров можно определить по формуле

$$П_{\text{час3}} = \frac{3600q_{\text{бр}}}{T_{\text{ц3}}}, \quad (3)$$

где $q_{\text{бр}}$ — объем бревна, м^3 ;

$T_{\text{ц3}}$ — время на выполнение операций ППД по производству дров, с.

Время $T_{\text{ц3}}$ (с), затрачиваемое ППД на выполнение операций по подаче бревен к процессору, раскряжке, расколке бревен на дрова и подаче дров в емкости баржи-площадки, определяли по формуле

$$T_{\text{ц3}} = t_{\text{под.бр}} + t_{\text{раскр}} + t_{\text{раскол}} + t_{\text{под.дров}}, \quad (4)$$

где $t_{\text{под.бр}}$ — время подачи бревен к процессору;

$t_{\text{раскр}}$ — время раскряжки бревен;

$t_{\text{раскол}}$ — время расколки бревен на дрова;

$t_{\text{под.дров}}$ — время подачи дров в емкости баржи-площадки.

Некоторые операции в древокольном процессе совмещены, например раскряжка бревна и расколка.

Что касается времени подачи, то его следует определять по времени совмещенного цикла раскряжки и расколки.

Работа баржи-площадки для приема и транспортировки дров

Для транспортировки дров по первой технологической схеме используется специальное судно-баржа (см. рис. 2, 3). Судно оснащено сетчатыми емкостями для дров.

Расчетная сменная производительность специального судна определяли по формуле

$$П_{\text{час4}} = \frac{3600q_{\text{баржа}}}{T_{\text{ц4}}}, \quad (5)$$

где $q_{\text{бр}}$ — объем бревна, м^3 ;

$T_{\text{ц4}}$ — время на выполнение транспортировки дров, с.

Время $T_{\text{ц4}}$ (с), затрачиваемое баржей на выполнение операций по транспортировке дров определяли по формуле

$$T_{\text{ц4}} = t_{\text{погр}} + t_{\text{трансп}} + t_{\text{разгр}}, \quad (6)$$

где $t_{\text{погр}}$ — время на погрузку дров;

$t_{\text{трансп}}$ — время на транспортировку дров;

$t_{\text{разгр}}$ — время на разгрузку дров.

Цикл погрузки дров в баржу определяется ее объемом и циклом раскряжки и расколки бревна — сопряженные циклы.

Время цикла транспортировки дров в грузовом и порожнем направлениях при движении судна по акватории будет равно:

$$t_{\text{трансп}} = t_{\text{г}} + t_{\text{х}} = \frac{l_{\text{г}}}{v_{\text{г}}} + \frac{l_{\text{х}}}{v_{\text{х}}}. \quad (7)$$

где $v_{\text{г}}$ и $v_{\text{х}}$ — скорости буксировки баржи при ее движении соответственно с грузом и порожним, м/с;

$l_{\text{г}}$ — протяженность участка, м.

Плавучие машины работают с баржами-площадками для приема и транспортировки дров по системе «мультилифт». Заполненную дровами баржу принимает буксирное судно и затем отправляет потребителю, а под загрузку ставится пустая баржа.

Схема «мультилифт» работы системы плавучих машин по системе представлена на рис. 4.

Рассмотрим влияние объема баржи для приема затонувших бревен (топляков) и числа барж для буксировки дров на загрузку плавучих машин и их производительность (таблица).

Результаты и обсуждение

Зависимость производительности системы плавучих машин по операциям от грузоподъем-

ности баржи для поднятых бревен (топляков) при «бесконечном» объеме баржи для дров (расстояние буксировки 50 км) приведена на гистограмме (рис. 5). Следует отметить, что в этом случае моделировалась совместная работа ТПА и ППД с баржей для поднятых бревен без учета баржи для дров. Чтобы выявить влияние грузоподъемности баржи для поднятых бревен на производительность ТПА и ППД в модели была принята баржа для дров «бесконечного» объема. Как видно из гистограммы (см. рис. 5), объем баржи для приема поднятых из воды бревен не влияет на производительность плавучих машин по рассматриваемым операциям.

Таким образом, от промежуточной баржи для приема бревен можно отказаться. Достаточно оставить только приемный стол на 20...40 бревен для сглаживания неравномерности подачи бревен от ТПА к ППД.

Влияние на производительность числа барж для транспортировки дров исследовалось для барж грузоподъемностью 100 т.

Установлена зависимость коэффициентов использования оборудования и плавучих машин по операциям от числа барж для транспортировки дров (рис. 6). Из графика следует, что производительность ТПА и ППД зависит от числа барж для транспортировки дров. При этом коэффициент использования ТПА остается низким и не достигает 0,15. Это означает, что ТПА большую часть времени простаивает, поскольку его высокую производительность ограничивает ППД.

ППД при 1–2 баржи для дров загружен менее, чем на 50 %. Однако при увеличении числа барж до 7–8 коэффициент использования ППД превышает 0,95. За счет высокой производительности ТПА, ППД почти полностью загружен.

Увеличение числа барж на транспортировке дров заметно снижает их загрузку. Коэффициент использования барж снижается почти на 50 % при увеличении барж с 1 до 11 шт. (с 0,981 до 0,475).

Установлена зависимость производительности оборудования и плавучих машин по операциям от числа барж для транспортировки дров (рис. 7). Как следует из графика часовая производительность ТПА и производительность ППД зависят от числа барж. Это согласуется с данными загрузки оборудования, приведенными на рис. 6.

Отметим, что производительность системы на транспортировке дров с ростом числа барж увеличивается, и при 8–10 баржах приближается к максимально возможной для данной системы плавучих машин, в дальнейшем рост прекращается.

На рис. 8 показана производительность ТПА и ППД при «бесконечном» объеме баржи для дров, а также производительность всей системы плавучих машин, в зависимости от числа барж

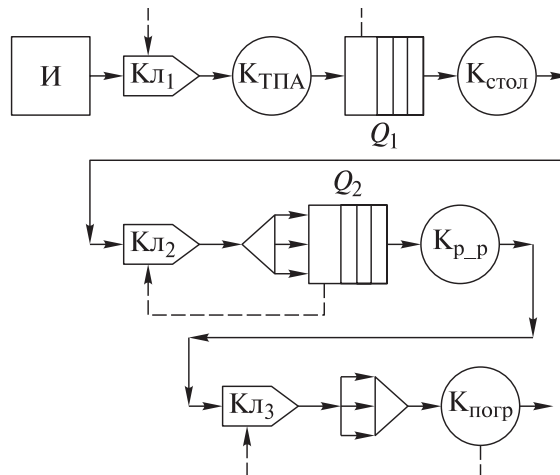


Рис. 4. Схема работы системы плавучих машин
Fig. 4. The scheme of floating machines system

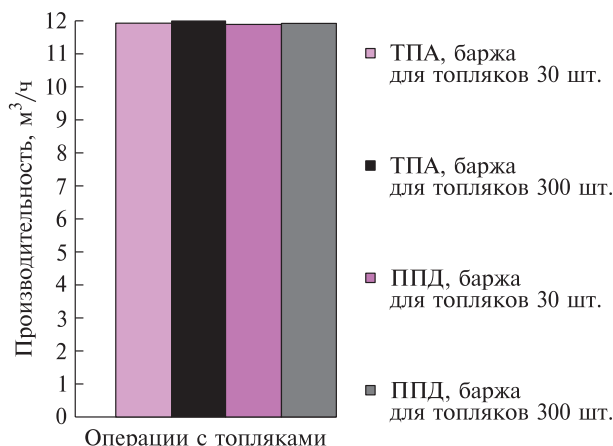


Рис. 5. Зависимость производительности системы плавучих машин по операциям от грузоподъемности баржи для поднятых бревен (топляков) при «бесконечном» объеме баржи для дров

Fig. 5. Dependence of the performance of a system of floating machines on operations on the carrying capacity of a barge for raised logs (firewood) with an “infinite” volume of a barge for firewood

Матрица планирования экспериментов
Experiment Planning Matrix

Объем баржи для топляков, шт.	Число барж для буксировки дров, шт.
300	1
100	1
30	1
30	3
30	5
30	7
30	9
30	11

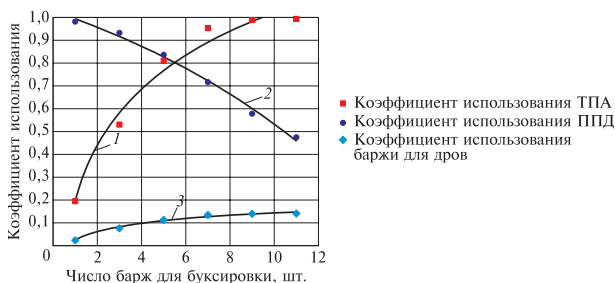


Рис. 6. Зависимость коэффициента использования оборудования и системы плавучих машин по операциям от числа барж для транспортировки дров:

$$1 - y = -0,002x^2 - 0,0293x + 1,0235; R^2 = 0,9946;$$

$$2 - y = 0,359\ln(x) + 0,1917; R^2 = 0,9767;$$

$$3 - y = 0,0515\ln(x) + 0,0274; R^2 = 0,975$$

Fig. 6. Dependence of the utilization rate of equipment and the system of floating machines for operations on the number of barges for transporting firewood:

$$1 - y = -0,002x^2 - 0,0293x + 1,0235; R^2 = 0,9946;$$

$$2 - y = 0,359\ln(x) + 0,1917; R^2 = 0,9767;$$

$$3 - y = 0,0515\ln(x) + 0,0274; R^2 = 0,975$$

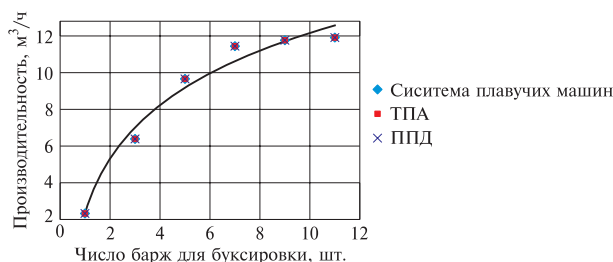


Рис. 7. Зависимость производительности оборудования и системы плавучих машин по операциям от числа барж для транспортировки дров:

$$y = 4,2848\ln(x) + 2,2805; R^2 = 0,9763$$

Fig. 7. Dependence of the utilization rate of equipment and the system of floating machines for operations on the number of barges for transporting firewood:

$$y = 4,2848\ln(x) + 2,2805; R^2 = 0,9763$$

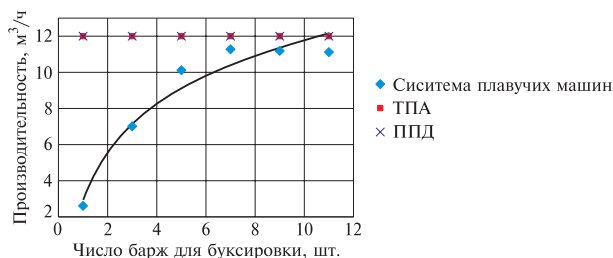


Рис. 8. Зависимость производительности оборудования и системы плавучих машин по операциям от числа барж для транспортировки дров:

$$y = 3,8199\ln(x) + 2,9866; R^2 = 0,9509$$

Fig. 8. Dependence of the productivity of equipment and the system of floating machines on operations on the number of barges for transporting firewood:

$$y = 3,8199\ln(x) + 2,9866; R^2 = 0,9509$$

для транспортировки дров. Из рис. 8 видно, что максимальная производительность системы плавучих машин определяется производительностью совместной работы ТПА и ППД и не может превышать $12 \text{ м}^3/\text{ч}$ при любом количестве барж.

Список литературы

- [1] Карпачев С.П., Шмырев В.И., Шмырев Д.В. Моделирование раскряжевки хлыстов сучкорезно-раскряжевой установкой и штабелевкой сортиментов погрузчиками разного типа // Транспорт: наука, техника, управление, 2016. № 3. С. 58–61.
- [2] Karpachev S.P., Zaprudnov V.I., Bykovskiy M.A., Scherbakov E.N. Quantitative Estimation of Logging Residues by Line-Intersect Method // Croatian journal of forest engineering, 2017, t. 38, no. 1, pp. 33–45.
- [3] Карпачев С.П., Шмырев В.И., Шмырев Д.В. Моделирование доставки круглых лесоматериалов потребителям автопоездами // Экологические системы и приборы, 2016. № 2. С. 18–22.
- [4] Карпачев С.П., Шмырев В.И., Шмырев Д.В. Моделирование разгрузки пачек хлыстов и укладки их в плот сплотно-транспортно-штабелевочными агрегатами // Транспорт: наука, техника, управление, 2016. № 1. С. 57–59.
- [5] Карпачев С.П. Логистика. Моделирование технологических процессов береговых складов. М.: МГУЛ, 2005. 132 с.
- [6] Карпачев С.П., Лозовецкий В.В., Щербаков Е.Н. Моделирование логистических систем лесных материалопотоков // Транспорт: наука, техника, управление, 2011. № 8. С. 16–20.
- [7] Урьяшева И.Д. Опыт подъема топляка. Лесоэксплуатация и лесосплав. М.: ВНИПИЭИлеспром, 1984. 28 с.
- [8] Расев А.И. Проблемы использования топляковой древесины в деревообрабатывающей промышленности // Сб. науч. тр. «Строение, свойства и качество древесины – 96». М.: МГУЛ, 1997. 378 с.
- [9] Анисимов П.Н., Онучин Е.М. Оценка и способы повышения энергетической эффективности производства топливной щепы // Материалы XXI Всерос. науч.-техн. конф. «Энергетика: эффективность, надежность, безопасность», Томск, ТПУ, 2–4 декабря 2015 г. Томск: Скан, 2015. Т. 1. С. 252–255.
- [10] Шелгунов Ю.В. Машины и оборудование лесозаготовок, лесосплава и лесного хозяйства. М.: Лесная промышленность, 1982. 520 с.
- [11] Кундас С.П., Позняк С.С., Родькин О.И., Санникович В.В., Ленгфельдер Э. Использование древесной биомассы в энергетических целях: научный обзор. Минск: МГЭУ им А. Д. Сахарова, 2008. 85 с.
- [12] Головков С.И., Коперин И.Ф., Найденов В.И. Энергетическое использование древесных отходов. М.: Лесная промышленность, 1987. 224 с.
- [13] Spinelli, R., Hartsough, V. A survey of Italian chipping operations // Biomass and Bioenergy, 2001, v. 21(6), pp. 433–444.
- [14] Magagnotti, N., Spinelli, R. Good practice guidelines for biomass production studies; WG2 Operations research and measurement methodologies. Sesto Fiorentino, Italy: COST Action FP-0902 and CNR Ivalsa, 2012, 52 p.
- [15] Eliasson L., von Hofsten H., Johannesson T., Spinelli R., Thierfelder T. Effects of sieve size on chipper productivity, fuel consumption and chip size distribution for open drum chippers // Croatian Journal of Forest Engineering, 2015, v. 36(1), pp. 11–17.
- [16] Spinelli R., Nati C., Magagnotti N. Recovering logging residue: experiences from the Italian Eastern Alps // Croatian Journal of Forest Engineering, 2007, v. 28(1), pp. 1–9.
- [17] Mihelic M., Spinelli R., Poje A. Production of Wood Chips from Logging Residue under Space-Constrained Conditions // Croatian Journal of Forest Engineering, 2018, v. 39(2), pp. 223–232.
- [18] Россо Я. Что мешает развитию отечественной биоэнергетики? // ЛесПромИнформ, 2016. № 6 (120). С. 38–39.

- [19] Gerasimov Y., Karjalainen T. Energy wood resources in Northwest Russia // *Biomass and Bioenergy*, 2011, no. 35, pp. 1655–1662.
- [20] Esteban B., Baquero G., Puig R., Riba J.R., Rius A. Is it environmentally advantageous to use vegetable oil directly as biofuel instead of converting it to biodiesel? // *Biomass Bioenergy*, 2011, no. 35, pp. 1317–1328. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.12.025> (дата обращения 01.02.2019).

Сведения об авторах

Карпачев Сергей Петрович — д-р техн. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), karpachevs@mail.ru

Запруднов Вячеслав Ильич — д-р техн. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), zaprudnov@mgul.ac.ru

Быковский Максим Анатольевич — канд. техн. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), bykovskiy@mgul.ac.ru

Поступила в редакцию 13.11.2018.

Принята к публикации 09.07.2019.

SYSTEM OF FLOATING MACHINE FOR LIFTING SUNKEN WOOD AND PROCESSING IT TO BIOFUELS

S.P. Karpachev, V.I. Zaprudnov, M.A. Bykovskiy

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

karpachevs@mail.ru

A system of floating machines for lifting and processing sunken wood for firewood is considered. A simulating test was carried out and the technology of floating machines in one parking lot was presented. A mathematical model of the technological process is developed. Some experimental results are shown, it is possible to refuse an intermediate barge for receiving logs, it is enough to use only a receiving table for 20...40 logs to smooth out the unevenness of their supply. The dependence of the hourly capacity of the log salvage unit and processor performance on the number of barges is obtained, which is consistent with the equipment loading data. It is shown that the performance of the firewood transportation system increases with the number of barges and, with 8...10 barges, approaches productivity in other operations.

Keywords: a floating machinery system, sunken timber, firewood, simulation

Suggested citation: Karpachev S.P., Zaprudnov V.I., Bykovskiy M.A. *Sistema plavuchikh mashin dlya pod'ema zatonuvshyey drevesiny i pererabotki ee na biotoplivo* [System of floating machine for lifting sunken wood and processing it to biofuels]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2019, vol. 23, no. 5, pp. 88–94.

DOI: 10.18698/2542-1468-2019-5-88-94

References

- [1] Karpachev S.P., Shmyrev V.I., Shmyrev D.V. *Modelirovanie raskryazhevki khlystov suchkorezno-raskryazhevochnoy ustanovkoy i shtabelevkoy sortimentov pogruchikami raznogo tipa* [Simulation of bucking Khlysty with a delimiting-bucking installation and piling assortments with loaders of different types] *Transport: nauka, tekhnika, upravlenie* [Transport: science, technology, management], 2016, no. 3, pp. 58–61.
- [2] Karpachev S.P., Zaprudnov V.I., Bykovskiy M.A., Scherbakov E.N. Quantitative Estimation of Logging Residues by Line-Intersect Method. *Croatian journal of forest engineering*, 2017, t. 38, no. 1, pp. 33–45.
- [3] Karpachev S.P., Shmyrev V.I., Shmyrev D.V. *Modelirovanie dostavki kruglykh lesomaterialov potrebitelyam avtopoezdami* [Modeling the delivery of round timber to consumers by road trains] *Ekologicheskie sistemy i pribory* [Ecological Systems and Devices], 2016, no. 2, pp. 18–22.
- [4] Karpachev S.P., Shmyrev V.I., Shmyrev D.V. *Modelirovanie razgruzki pachek khlystov i układki ikh v plot splotochno-transportno-shtabelevochnymi agregatami* [Simulation of unloading packs of whips and placing them in a raft of rattan-transport-piling units]. *Transport: nauka, tekhnika, upravlenie* [Transport: science, technology, management], 2016, no. 1, pp. 57–59.
- [5] Karpachev S.P. *Logistika. Modelirovanie tehnologicheskikh processov beregovykh skladov* [Modelling of processes of coastal warehouses]. Moscow: MSFU, 2005, 132 p.
- [6] Karpachev S.P., Lozovetskiy V.V., Shcherbakov E.N. *Modelirovanie logisticheskikh sistem lesnykh materialopotokov* [Modelling of logistic systems of forest material flows]. *Transport: nauka, tekhnika, upravlenie* [Transport: science, technology, management], 2011, no. 8, pp. 16–20.
- [7] Ur'yas'eva I.D. *Opyt pod'yema toplyaka. Lesoekspluatatsiya i lesosplav* [Sinkers salvage. Forest exploitation and timber rafting]. Moscow: VNIPIEIspprom, 1984. 28 p.

- [8] Rasev A.I. *Problemy ispolzovaniya toplyakovoy drevesiny v derevoobrabatyvayushchey promyshlennosti* [Using submerged wood in the woodworking industry] Stroenie, svoystva i kachestvo drevesiny – 96 [Wood structure, properties, and quality – 96]. Moscow: MGUL, 1997, 378 p.
- [9] Anisimov P.N., Onuchin E.M. *Otsenka i sposoby povysheniya energeticheskoy effektivnosti proizvodstva toplivnoy shchepy* [Evaluation and ways to improve the energy efficiency of the production of fuel chips] Materialy XXI vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Energetika: effektivnost', nadezhnost', bezopasnost'», Tomsk, TPU, 2–4 dekabrya 2015 g. [Proceedings of the XXI All-Russian Scientific-Technical Conference «Energy: Efficiency, Reliability, Safety», Tomsk, TPU, December 2–4, 2015]. Tomsk: Scan, 2015, v. 1, pp. 252–255.
- [10] Shelgunov Yu.V. *Mashiny i oborudovanie lesozagotovok, lesosplava i lesnogo khozyaystva* [Machines and equipment for logging, timber floating and forestry]. Moscow: Lesnaya prom-st' [Forest industry], 1982, 520 p.
- [11] Kundas S.P., Poznyak S.S., Rod'kin O.I., Sanikov V.V., Lengfel'der E. *Ispol'zovanie drevesnoy biomassy v energeticheskikh tselyakh: nauchnyy obzor* [Use of woody biomass for energy purposes: a scientific review]. Minsk: MSEU named after A. Sakharov, 2008, 85 p.
- [12] Golovkov S.I., Koperin I.F., Naydenov V.I. *Energeticheskoe ispol'zovanie drevesnykh otkhodov* [Wood waste utilization as an energy source]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Timber industry], 1987, 224 p.
- [13] Spinelli, R., Hartsough, B. A survey of Italian chipping operations. *Biomass and Bioenergy*, 2001, v. 21(6), pp. 433–444.
- [14] Magagnotti, N., Spinelli, R. Good practice guidelines for biomass production studies; WG2 Operations research and measurement methodologies. Sesto Fiorentino, Italy: COST Action FP-0902 and CNR Ivalsa, 2012, 52 p.
- [15] Eliasson L., von Hofsten H., Johannesson T., Spinelli R., Thierfelder T. Effects of sieve size on chipper productivity, fuel consumption and chip size distribution for open drum chippers. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 2015, v. 36(1), pp. 11–17.
- [16] Spinelli R., Nati C., Magagnotti N. Recovering logging residue: experiences from the Italian Eastern Alps. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 2007, v. 28(1), pp. 1–9.
- [17] Mihelič M., Spinelli R., Poje A. Production of Wood Chips from Logging Residue under Space-Constrained Conditions. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 2018, v. 39(2), pp. 223–232.
- [18] Rosso Ya. *Chto meshaet razvitiyu otechestvennoy bioenergetiki?* [What prevents the development of domestic bioenergy?]. Specialized information and analytical magazine. *LesPromInform*, 2016, no. 6 (120), pp. 38–39.
- [19] Gerasimov Y., Karjalainen T. Energy wood resources in Northwest Russia. *Biomass and Bioenergy*, 2011, no. 35, pp. 1655–1662.
- [20] Esteban B., Baquero G., Puig R., Riba J.R., Rius A. Is it environmentally advantageous to use vegetable oil directly as biofuel instead of converting it to biodiesel?. *Biomass Bioenergy*, 2011, no. 35, pp. 1317–1328. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.12.025> (accessed 01.02.2019).

Authors' information

Karpachyov Sergey Petrovich — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), karpachevs@mail.ru

Zaprudnov Vyacheslav Il'ich — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), zaprudnov@mgul.ac.ru

Bykovskiy Maksim Anatol'evich — Cand. Sci. (Tech.), Associated Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), bykovskiy@mgul.ac.ru

Received 13.11.2018.

Accepted for publication 09.07.2019.

БИОДЕГРАДАЦИЯ ДРЕВЕСИНЫ ФЕРМЕНТНЫМИ КОМПЛЕКСАМИ ДЕРЕВОРАЗРУШАЮЩИХ ГРИБОВ

А.Н. Веревкин, Г.Н. Кононов, Ю.В. Сердюкова, В.Д. Зайцев

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

verevkin@mgul.ac.ru

По литературным данным сделано предположение, что степень биодеградации лигноуглеводного комплекса древесины может коррелировать с накоплением пероксидазы, входящей в комплекс лигнолитических ферментов дереворазрушающих грибов. Проведен скрининг дереворазрушающих грибов в целях выявления микроорганизмов с высоким и устойчивым уровнем содержания пероксидазы. Установлено, что лучшие результаты по накоплению пероксидазы наблюдались у гриба *Phellinus igniarius* — 2,3...2,5 мкмоль·мин⁻¹·мл⁻¹. Получена микологически разрушенная древесина путем культивирования гриба *Phellinus igniarius* на различных лигнинсодержащих субстратах: древесине и коре сосны, древесине и коре березы методом твердофазной ферментации. Методом экстракции из нее выделена пероксидаза. Наряду с пероксидазой из мицелия гриба *Phellinus igniarius* в раствор также переходили полифенольные соединения. Указано, что скорость накопления биомассы гриба *Phellinus igniarius* коррелирует с содержанием полифенольных пигментов и пероксидазы в экстракте, а продукты деструкции лигнина ингибируют пероксидазу, подтверждая ее физиологическое значение при микелизации древесины.

Ключевые слова: лигнин, целлюлоза, микологически разрушенная древесина, лигноуглеводный комплекс, полифенольные соединения, дереворазрушающие грибы

Ссылка для цитирования: Веревкин А.Н., Кононов Г.Н., Сердюкова Ю.В., Зайцев В.Д. Биодеградация древесины ферментными комплексами дереворазрушающих грибов // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2019. Т. 23. № 5. С. 95–100. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-5-95-100

В научной литературе имеются сведения о большом разнообразии микроорганизмов, способных разрушать древесину. Это прежде всего дереворазрушающие грибы, которые образуют на поверхности гниющего дерева четыре вида гнили: бурую, белую, пеструю и мягкую [1–3].

Возбудители бурой гнили принадлежат к классам высших грибов (*Ascomycetes*, *Basidiomycetes*, *Deuteromycetes*), в частности березовая губка (*Piptoporus betulinus*), серно-желтый трутовик (*Laetiporus sulphureus*), базидиальный гриб (*Forties onnatus*) и др. Основными компонентами древесины, которые разрушаются этими базидиальными грибами, являются целлюлоза, гемицеллюлоза и в меньшей степени лигнин.

К возбудителям белой гнили относят грибы видов *Phellinus*, *Coriolus*, *Inonotus*: траметес разноцветный (*Polyporus versicolor*), вешенка обыкновенная (*Pleurotus ostreatus*), ирпекс молочно-белый (*Poria subacida*), вид гриба, входящий в род Фанерохета — *Phanerochaete chrysosporium*, траметес разноцветный (*Trametes versicolor*), флебия радиальная (*Phlebia radiata*), трутовик ложный (*Phellinus igniarius*). Микроорганизмы, вызывающие образование белой гнили действуют в первую очередь на лигнин, а целлюлозу разрушают в малой степени. Следует отметить, что они не осуществляют полное ферментативное разрушение лигнина.

Теоретическая часть

Дереворазрушающие грибы, образующие бурую гниль, содержат комплекс целлюлолитических

ферментов. Субстратом для такого комплекса служит целлюлоза. Целлюлазный комплекс содержит несколько групп ферментов, в основном это эндоглюконазы, экзоглюканызы и глюкозидазы.

Эндоглюконазы обеспечивают разрыв глицеридных связей, удаленных от конца цепи молекул полисахаридов. Экзоглюканызы, наоборот, осуществляют отщепление концевых элементарных звеньев от молекул полисахарида. Глюкозидазы катализируют гидролиз глицеридных связей в молекулах ди- и олигосахаридов.

Следует отметить, что глубокий гидролиз целлюлозы осуществляется в результате согласованного действия всей полиферментной системы целлюлазного комплекса. Первый этап такого процесса обеспечивает разрушение надмолекулярной структуры полисахарида. Очевидно, это обусловлено сложными физико-химическими взаимодействиями, происходящими при сорбции фермента на целлюлозной матрице и фрагментации макромолекул. Второй этап включает в себя процессы химических превращений частично деструктурированной целлюлозы. Результатом таких превращений являются низкомолекулярные продукты распада полисахарида — ди- и олигосахариды.

В литературе описаны несколько моделей воздействия целлюлазного комплекса ферментов дереворазрушающих грибов на углеводы древесины, и среди них невозможно выделить основополагающую.

В целом ферменты целлюлазного комплекса действуют синергично. Коэффициент синергизма зависит от концентрации субстрата и соотношения концентраций ферментов в комплексе и при воздействии ферментов целлюлазного комплекса на нерастворимую целлюлозу древесины связан с адсорбционной способностью действующей полиферментной системы [4].

Механизм действия эндоглюконаз на полисахариды хорошо изучен. Предполагается, что эндоглюконазы в своем активном центре содержат несколько сорбционных центров моносахаридных остатков, а каталитический участок активного центра содержит две карбоксильные группы и обеспечивает сродство сорбционных участков к конформации «полукресло» глюкопиранозных колец [5–8].

Известна последовательная цепь ферментативных превращений: искажение пиранозного кольца глюкозы до конформации «полукресла», что способствует образованию карбокатиона, общий кислотнo-основной катализ карбоксильной группой активного центра фермента и стабилизация образующегося карбокатиона карбоксилат-анионом [9, 10].

Разложение лигнина происходит под действием ферментного лигнолитического комплекса дереворазрушающих грибов, образующих белую гниль древесины. Лигнин представляет собой высокомолекулярное соединение ароматической природы, которое не может быть выделено из древесины неизменным и не встречается в природе в чистом виде. Это создает трудности в изучении лигнолитических ферментов.

Лигноуглеводный ферментный комплекс дереворазрушающих грибов белой гнили включает в себя лигнинпероксидазу, Mn-пероксидазу, фенолоксидазы (лакказу, пероксидазу, тирозиназу) и ферменты, генерирующие пероксид водорода (глюкозооксидазы).

Биологическое окисление лигнина происходит под действием кислорода воздуха или пероксида водорода, катализируемое ферментами лигноуглеводного ферментного комплекса грибов. Причем эти окислительные ферменты выделяются клетками дереворазрушающих грибов в окружающую среду и действуют независимо от самого тела гриба, т. е. являются экзолитическими. Разрушение лигнина начинается с появления внеклеточных ферментов пероксидазной природы.

Наиболее активными разрушителями лигнина являются лигнинпероксидаза, Mn-пероксидаза и фенолоксидаза и, в частности, пероксидаза. Установлено, что пероксидаза из дереворазрушающих грибов обладает не только пероксидазными, но и оксидазными свойствами. Предполагается, что у дереворазрушающих грибов функция пероксида-

зы заключается в разрушении лигнина путем его окисления, а необходимый для этого процесса пероксид водорода образуется при окислении сахаров соответствующими оксидазами [11, 12].

Растительные же пероксидазы участвуют в декарбоксилировании индолилуксусной кислоты, биосинтезе лигнина в стресс-реакциях растений и т. д. [13].

Цель работы

Работа посвящена поиску микроорганизмов, наиболее эффективно разрушающих древесину, а также определению ферментативной активности лигнолитического комплекса дереворазрушающих грибов, получению микологически разрушенной древесины березы и выделению из нее лигнолитического фермента — пероксидазы и изучению влияния на его активность продуктов деструкции лигноуглеводного комплекса древесины.

Материалы и методы

Исследованы культуры дереворазрушающих грибов порядков *Hyphomycetales*, *Sphaeropsidales*, *Aphylllophorales*, *Coriolus*, *Agaricales*, *Pleurotus*, *Stropharia*. Культуры грибов получены из коллекции Кафедры микологии и альгологии Биологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова. Их поддерживали на твердой агаризованной среде, содержащей сусло. Жидкая питательная среда для культивирования грибов — продуцентов пероксидазы содержала глюкозу, пептон и сусло [15, 16]. Культивирование грибов осуществляли в стационарных условиях в колбах, содержащих по 100 мл жидкой питательной среды. После 10–12 сут инкубации при температуре 24 °С, образовавшийся мицелий отделяли от культуральной жидкости фильтрованием через бумажный фильтр.

Определение пероксидазной активности проводили с использованием диаммониевой соли 2,2'-азино-бис-(3-этилбензтиозолин-6-сульфокислоты) (АБТС) [17, 18]. Реакционная смесь содержала 50 мкл культуральной жидкости, 5 мл натрий-ацетатного буферного раствора pH 5,0, содержащего 0,2 мг/мл АБТС. Реакцию начинали добавлением 0,08 % раствора пероксида водорода. При наличии пероксидазы в культуральной жидкости реакционная смесь приобретала бирюзово-зеленый цвет, в зависимости от содержания фермента в культуральной жидкости. Количественное определение содержания пероксидазы в культуральной жидкости грибов проводили на спектрофотометре «Shimadzu UV-120-02» при длине волны 405 нм, используя молярный коэффициент поглощения окисленной формы АБТС, равный 36,8 м·М⁻¹·см⁻¹. Активность фермента выражали в мкмоль·мин⁻¹·мл⁻¹.

Результаты и обсуждение

По окончании проведения исследований дереворазрушающие грибы были охарактеризованы способностью к биосинтезу пероксидазы (табл. 1).

Установлено, что гифомицеты обладали относительно низкими значениями пероксидазной активности. У дереворазрушающих базидиальных грибов родов *Coriolus*, *Fomes*, *Cerrena*, *Pleurotus* наблюдалась высокая лакказная активность, которая проявлялась в появлении окраски окисленной формы АБТС без добавления пероксида водорода.

Полученные данные показывают, что в культуральной жидкости грибов из различных систематических групп наиболее высокое содержание пероксидазы наблюдалось у грибов рода *Phellinus*. Культуры *Ph. igniarius* и *Ph. tremulae* были выделены из плодовых тел грибов с древесины березы в Красноярском крае и древесины осины на Звенигородской биостанции в Московской области соответственно. В качестве источника углерода для синтеза пероксидазы служили глюкоза и ксилоза, а источником азота — пептон.

Для дальнейших исследований был выбран гриб *Ph. igniarius*, имеющий высокую и воспроизводимую пероксидазную активность.

Для получения микологически разрушенной древесины гриб *Ph. igniarius* культивировали на различных лигнинсодержащих субстратах: древесине и коре сосны, древесине и коре березы методом твердофазной ферментации. Щепу древесины увлажняли водой, содержащей 1 % пептона, и инокулировали культурой гриба. Твердый субстрат прорастал мицелием дереворазрушающего гриба за 10–12 сут при температуре 24–25 °С. Затем мицелий обрабатывали 0,1 М трис-НСI буферным раствором, рН 6,0, и инкубировали в течение одного часа при комнатной температуре. После этого пероксидазу выделяли экстракцией по стандартной методике, описанной в работе [15].

Лучшие результаты культивирования гриба *Ph. igniarius* достигались на древесине березы с добавлением 1%-ного раствора пептона. Древесина прорастала мицелием за 10–12 сут при температуре 24 °С.

Установлено, что наряду с выделением пероксидазы из мицелия гриба *Ph. igniarius* в раствор также переходили полифенольные соединения. Скорость роста и накопления биомассы гриба *Ph. igniarius* коррелировала с содержанием полифенольных пигментов и пероксидазы в экстракте. Это подтверждает предположение о содействии прорастания древесины мицелием дереворазрушающих грибов частичной биодеградации нерастворимого лигноуглеводного комплекса субстрата, что и приводит к образованию растворимых полифенолов.

Т а б л и ц а 1

**Пероксидазная активность
дереворазрушающих грибов**
Peroxidase activity of wood-destroying fungi

Вид	Активность, мкмоль·мин ⁻¹ ·мл ⁻¹
<i>Hyphomycetales</i>	
<i>Acremonium charaotica</i>	0,3...0,4
<i>Botrytis cinerea</i>	0,5...0,6
<i>Fusarium solani</i>	0,3...0,4
<i>Sphaeropsidales</i>	
<i>Ascochyta pisi</i>	0,7...0,9
<i>Septoria rumicus</i>	0,4...0,5
<i>Phoma exigua</i>	0,4...0,6
<i>Aphylophorales</i>	
<i>Abortiporus biennis</i>	0,9...1,0
<i>Anisomyces oboratus</i>	0,2...0,3
<i>Cerrena unicolor</i>	1,3...1,5
<i>Coriolus</i>	
<i>Diadealea quersina</i>	1,0...1,3
<i>Phellinus igniarius</i>	2,3...2,5
<i>Phellinus tremulae</i>	2,1...2,3
<i>Fomes fomentarius</i>	0,1...0,2
<i>Agaricales</i>	
<i>Agaricus campestris</i>	1,1...1,3
<i>Lentinus edodes</i>	1,2...1,4
<i>Pleurotus eryngii</i>	1,5...1,7
<i>Stropharia hornemannii</i>	0,9...1,1
<i>Suillus grevillei</i>	0,1...0,2

Т а б л и ц а 2

Выделение пероксидазы из гриба *Ph. igniarius*
Discharge of Peroxidase from *Ph. igniarius*

Стадия очистки	Общая активность, мкмоль/мин (субстрат — гваякол)	Удельная активность, мкмоль/мин на мг белка фермента
Экстракция проросшей мицелием древесины	7500	1
ДЭАЭ-хроматография	9000	3
Диализ	4500	4
Рехроматография на ДЭАЭ-целлюлозе	2250	12

Присутствующие в культуральной жидкости полифенольные соединения ингибировали активность пероксидазы. Удаление растворимых полифенолов из экстракта хроматографией и рехроматографией на ДЭАЭ-целлюлозе привело к увеличению удельной активности фермента, что было связано с удалением ингибитора (табл. 2).

Разрушение лигноуглеводного комплекса древесины березы, а следовательно, и присутствие полифенольных компонентов в экстракте объясняется физиологической функцией пероксидаз. Пероксидазы грибов являются индуцибельными ферментами и входят в состав лигнолитического комплекса ферментов. Выполнение ими физиологической функции предусматривает сорбцию на лигнинсодержащих субстратах с последующим частичным разрушением ими лигноуглеводного комплекса. При этом происходит образование растворимых полифенолов, являющихся ингибиторами активности пероксидазы.

Таким образом, наблюдается регуляция активности лигнолитического фермента продуктами деструкции лигнина по типу обратной связи: с возрастанием степени деструкции субстрата ферментом происходит ингибирование его активности и снижение скорости реакции деструкции.

Выводы

По литературным данным сделано предположение о том, что степень биодеградации лигноуглеводного комплекса древесины может коррелировать с накоплением фермента пероксидазы, входящего в состав комплекса лигнолитических ферментов дереворазрушающих грибов [19–25]. Проведен скрининг дереворазрушающих грибов в целях выявления микроорганизмов с высоким и устойчивым уровнем содержания пероксидазы. Установлено, что лучшие результаты по накоплению пероксидазы наблюдались у гриба *Ph. igniarius*. Получена микологически разрушенная грибом *Ph. igniarius* древесина. Методом экстракции из нее была выделена пероксидаза и проведена ее очистка методом колоночной хроматографии. Показано, что продукты деструкции лигнина ингибируют пероксидазу, что подтверждает ее физиологическую роль при микелизации древесины.

Список литературы

- [1] Рабинович М.Л., Болобова А.В., Кондращенко В.И. Теоретические основы биотехнологии древесных композиций: в 2 кн. Кн. I. Древесина и разрушающие ее грибы / Под ред. М.Л. Рабиновича. М.: Наука, 2001. 264 с.
- [2] Гелес И.С. Древесное сырье — стратегическая основа и резерв цивилизации. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. 499 с.
- [3] Семенкова И.Г. Фитопатология. Дереворазрушающие грибы, гнили и патологические окраски древесины (определяющие таблицы). М.: МГУЛ, 2008. 72 с.
- [4] Selvam K., Senbagam D., Selvankumar T., Sudhakar C., Kannan S.K., Govarthanam M. Cellulase enzyme: Homology modeling, binding site identification and molecular docking // J. of Molecular Structure, 2017, v. 1150, no. 15, pp. 61–67.
- [5] Березин И.В., Клесов А.А., Швядас В.К., Угарова Н.Н., Варфоломеев С.Д., Ярополов А.И., Казанская Н.Ф., Егоров А.М. Инженерная энзимология. В 8 т. / Под ред. Н.С. Егорова, В.Д. Самуилова. М.: Высшая школа, 1987. Т. 8. 143 с.
- [6] Badhan A., Huang J., Wang Y., Abbot D.W., Falco M.Di., Tsang A., McAlister T. Saccharification efficiencies of

- multy-enzyme complexes produced by aerobic fungi // New Biotechnology, 2018, v. 46, pp. 1–6.
- [7] Бутова С.Н. Биотехнологическая деградация отходов растительного сырья. М.: Россельхозакадемия, 2004. 320 с.
 - [8] Синицын А.П., Гусаков А.В., Черноглазов В.М. Био-конверсия лигноцеллюлозных материалов. М.: МГУ, 1995. 224 с.
 - [9] Бутова С.Н. Разработка биотехнологических основ деградации отходов растительного сырья ферментами пектолитического комплекса: автореф. дис. ... д-ра биол. наук М.: РУДН, 2005. 45 с.
 - [10] Грачева И.М., Крявова А.Ю. Технология ферментных препаратов. М.: Элевар, 2000. 512 с.
 - [11] Lyr H. Untersuchungen uber peroxydasen höherer Pilze // Planta, 1956, v. 48, no. 1, pp. 239–265.
 - [12] Даниляк Н.И., Семичаевский В.Д., Дудченко Л.Г., Трутнева И.А. Ферментные системы высших базидиомицетов. Киев: Наукова думка, 1989. 280 с.
 - [13] Kollattukudy P.E. Biochemistry and Function Ocutin and Suberin // Canadian Journal of Botany, 1984, v. 62, pp. 2918–2933.
 - [14] Куликова Н.А., Кляйн О.И., Степанова Е.В., Королева О.В. Использование базидиальных грибов в технологиях переработки и утилизации техногенных отходов: Фундаментальные и прикладные аспекты (обзор) // Прикладная биохимия и микробиология, 2011. Т. 47. № 6. С. 619–634.
 - [15] Веревкин А.Н., Кононов Г.Н., Машута Н.П., Сердюкова Ю.В., Воликова А.С. Культивирование дереворазрушающих грибов рода *Phellinus* на древесине березы // Технология и оборудование для переработки древесины: научные труды. М.: МГУЛ, 2016. Вып. 381. С. 85–88.
 - [16] Leatham G.F., Kirk T.K. Regulation of ligninolytic activity by nutrient nitrogen in white-rot basidiomycetes // FEMS Microbiology Letters, 1983, v. 16, pp. 65–67.
 - [17] Majkić N., Djordjević-Spašić S., Berceš I. A kinetic method for the determination of the activity of «aerobic transhydrogenases» // Clinica Chimica Acta, 1975, v. 65, pp. 227–233.
 - [18] Moon D.-S., Song H.-G. Degradation of alkylphenols by white rot fungus *Irpex lacteus* and its manganese peroxidase // Appl. Biochem. Biotechnol, 2012, v. 168, pp. 542–549.
 - [19] Рипачек В. Биология дереворазрушающих грибов. М.: Лесная промышленность, 1967. 258 с.
 - [20] Азаров В.И., Кононов Г.Н., Горячев Н.Л. Изучение компонентного состава микологически разрушенной древесины // Технология и оборудование для переработки древесины: научные труды. М.: МГУЛ, 2012. Вып. 358. С. 126–131.
 - [21] Стороженко В.Г. Научные основы устойчивости лесов к дереворазрушающим грибам. М.: Наука, 1992. 221 с.
 - [22] Naidu Y., Siddiqui Y., Rafi M.Y., Saud H.M., Idris A.S. Investigating the effect of white-rot hymenomycetes biodegradation on basal stem rot infected oil palm wood blocks: Biochemical and anatomical characterization // Industrial Crops and Products, 2017, v. 108, pp. 872–882.
 - [23] Falcon M.A., Rodríguez A., Carnicero A., Regalado V., Perestelo F., Milstein O., De la Fuente G. Isolation of microorganisms with lignin transformation potential from soil of Tenerife island // Soil Biology and Biochemistry, 1995, v. 27 (2), pp. 121–126.
 - [24] Ivankin A.N., Oliferenko G.L., Kulikovskii A.V., Chernuha I.M., Semenova A.A., Spiridonov K.I., Nasonova V.V. Determination of unsaturated fatty acids with a migrating double bond in complex biological matrices by gas chromatography with flame ionization and mass spectrometry detection // Journal of Analytical Chemistry, 2016, v. 71, no. 11, pp. 1131–1137.
 - [25] Иванкин А.Н., Фадеев Г.Н., Болдырев В.С., Прошина О.П., Куликовский А.В., Семенова А.А., Насонова В.В. Вкусо-ароматические компоненты рецептур, формируемые в присутствии бактериальных культур // Известия Вузов. Прикладная химия и биотехнология 2017. Т. 7. № 2. С. 124–136.

Сведения об авторах

Веревкин Алексей Николаевич — канд. хим. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), verevkin@mgul.ac.ru

Кононов Георгий Николаевич — канд. техн. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), чл.-корр. РАЕН, ученый секретарь секции «Химии и химической технологии древесины» РХО им. Д.И. Менделеева, kononov@mgul.ac.ru

Сердюкова Юлия Владимировна — ст. преподаватель МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), caf-htdip@mgul.ac.ru

Зайцев Владислав Дмитриевич — магистрант МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), kelertak@bk.ru

Поступила в редакцию 05.02.2019.

Принята к публикации 13.09.2019.

BIODEGRADATION OF WOOD BY WOOD-DESTROYING FUNGI ENZYME COMPLEXES

A.N. Verevkin, G.N. Kononov, Ju.V. Serdyukova, V.D. Zaytsev

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

verevkin@mgul.ac.ru

As a result of the study of the literature data, it was suggested that the degree of wood lignocarbhydrate complex biodegradation can correlates with the accumulation of the enzyme peroxidase, which being a part of the complex of lignolytic enzymes of wood-destroying fungi. A screening of wood-destroying fungi was carried out to identify a microorganism with a high and stable level of peroxidase content. It was found that the best results on the accumulation of peroxidase were observed in the fungus *Phellinus igniarius*, and was 2,3–2,5 $\mu\text{mol}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{ml}^{-1}$. Mycologically destroyed wood was obtained by cultivating the fungus *Phellinus igniarius* on various lignin-containing substrates: pine wood, pine bark, birch wood, birch bark by solid-phase fermentation. Peroxidase was isolated by extraction. Polyphenolic compounds also passed into the solution from the mycelium of the fungus *Phellinus igniarius* along with the peroxidase. It was found that the rate of the fungus *Phellinus igniarius* biomass accumulation correlated with the polyphenolic pigments and peroxidase content in the extract. It is shown, that lignin destruction products inhibit peroxidase, that confirms its physiological role in wood mycolysies.

Keywords: lignin, cellulose, mycologically destroyed wood, lignincarbhydrate complex, polyphenolic compounds, wood-destroying fungi

Suggested citation: Verevkin A.N., Kononov G.N., Serdyukova Ju.V., Zaytsev V.D. *Biodegradatsiya drevesiny fermentnymi kompleksami derevorazrushayushchikh gribov* [Biodegradation of wood by wood-destroying fungi enzyme complexes]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2019, vol. 23, no. 5, pp. 95–100.
DOI: 10.18698/2542-1468-2019-5-95-100

References

- [1] Rabinovich M.L., Bolobova A.V., Kondrashchenko V.I. *Teoreticheskie osnovy biotekh-nologii drevesnykh kompozitov. V 2 kn.* [Theoretical basis of biotechnology of wood composites. In 2 books]. *Drevesina i razrushayushchie ee griby Kn. I.* [Wood and its destructive fungi. Book I]: Red. M.L. Rabinovich. Moscow: Nauka [Science], 2001, 264 p.
- [2] Geles I.S. *Drevesnoe syr'e — strategicheskaya osnova i rezerv civilizatsii* [Wood raw materials are the strategic basis and reserve of civilization]. Petrozavodsk: Kareli'skiy nauchniy centr RAN [Karelian scientific center of RAS], 2007, 499 p.
- [3] Semenkova I.G. *Fitopatologiya. Derevorazrushayushchie griby, gnili i patologicheskie okraski drevesiny (opredelitel'nye tablitsy)* [Wood destroying fungi, rots and abnormal coloration of wood (identification keys)]. Moscow: MGUL, 2008, 72 p.
- [4] Selvam K., Senbagam D., Selvankumar T., Sudhakar C., Kannan S.K., Govarathanan M. Cellulase enzyme: Homology modeling, binding site identification and molecular docking. *J. of Molecular Structure*, 2017, v. 1150, no. 15, pp. 61–67.
- [5] Berezin I.V., Klesov A.A., Shvyadas V.K., Ugarova N.N., Varfolomeev S.D., Yaropolov A.I., Kazanskaya N.F., Egorov A.M. *Inzhenernaya enzimologiya. V 8 t.* [Engineering Enzymology. In 8 vol.]. Red. N.S. Egorov, V.D. Samuilov. Moscow: Vysshaya shkola. [Higher school], 1987, v. 8, 143 p.
- [6] Badhan A., Huang J., Wang Y., Abbot D.W., Falco M.Di., Tsang A., McAlister T. Saccharification efficiencies of multy-enzyme complexes produced by aerobic fungi. *New Biotechnology*, 2018, v. 46, pp. 1–6.
- [7] Butova S.N. *Biotechnologicheskaya degradatsiya othodov rastitel'nogo syr'ya* [Biotechnological degradation of plant waste]. Moscow: Rossel'hozakademiya [Russian Agricultural Academy], 2004, 320 p.
- [8] Sinicyn A.P., Gusakov A.V., Chernoglazov V.M. *Biokonversiya lignocellyuloznykh materialov* [Bioconversion of lignocellulosic materials]. Moscow: MSU, 1995, 224 p.

- [9] Butova S. N. *Razrabotka biotekhnologicheskikh osnov degradacii othodov rastitel'nogo syr'ya fermentami pektoliticheskogo kompleksa* [Development of biotechnological bases of degradation of waste of plant raw materials by enzymes of pectolytic complex]. Avtoref. dis. ... d. biol. n. [Abstract of the thesis of the Diss. Dr. Sci. (Biology)]. Moscow: RUDN [PFUR], 2005, 45 p.
- [10] Gracheva I.M., Kryavova A.Yu. *Tekhnologiya fermentnykh preparatov* [Technology of enzyme preparations]. Moscow: Elevar, 2000, 512 p.
- [11] Lyr H. Untersuchungen uber peroxydasen höherer Pilze. *Planta*, 1956, v. 48, no. 1, pp. 239–265.
- [12] Danilyak N.I., Semichaevskiy V.D., Dudchenko L.G., Trutneva I.A. *Fermentnye sistemy vysshih bazidiomicetov* [Enzyme systems of higher basidiomycetes]. Kiev: Naukova dumka [Scientific opinion], 1989, 280 p.
- [13] Kollattukudy P.E. Biochemistry and Function Ocutin and Suberin. *Canadian Journal of Botany*, 1984, v. 62, pp. 2918–2933.
- [14] Kulikova N.A., Klyajin O.I., Stepanova E.V., Korolyova O.V. *Ispol'zovanie bazidial'nykh gribov v tekhnologiyah pererabotki i utilizacii tekhnogennykh othodov: Fundamental'nye i prikladnye aspekty (obzor)* [Use of basidial fungi in technologies of processing and utilization of technogenic waste: Fundamental and applied aspects (review)] *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya* [Applied biochemistry and Microbiology]. 2011, v. 47, no. 6, pp. 619–634.
- [15] Verevkin A.N., Kononov G.N., Mashuta N.P., Serdyukova Yu.V., Volikova A.S. *Kul'tivirovanie derevorazrushayushchih gribov roda Phellinus na drevesine breezy* [Cultivation of wood-destroying fungi of the genus *Phellinus* on birch wood] *Tekhnologiya i oborudovanie dlya pererabotki drevesiny: nauchnye trudy* [Technology and equipment for wood processing: scientific works]. Moscow: MGUL, 2016, v. 381, pp. 85–88.
- [16] Leatham G.F., Kirk T.K. Regulation of ligninolytic activity by nutrient nitrogen in white-rot basidiomycetes. *FEMS Microbiology Letters*, 1983, v. 16, pp. 65–67.
- [17] Majkić N., Djordjević-Spašić S., Berceš I. A kinetic method for the determination of the activity of «aerobic transhydrogenases». *Clinica Chimica Acta*, 1975, v. 65, pp. 227–233.
- [18] Moon D.-S., Song H.-G. Degradation of alkylphenols by white rot fungus *Irpex lacteus* and its manganese peroxidase. *Appl. Biochem. Biotechnol.*, 2012, v. 168, pp. 542–549.
- [19] Rypacek V. *Biologiya derevorazrushayushchih gribov* [Biology of wood-destroying fungi]. Moscow: Forest industry, 1967, 258 p.
- [20] Azarov V.I., Kononov G.N., Goryachev N.L. *Izuchenie komponentnogo sostava mikologicheski razrushennoy drevesiny* [Studying of component structure mycologically the destroyed wood]. *Tekhnologiya i oborudovanie dlya pererabotki drevesiny: nauchnye trudy* [Technology and the equipment for wood processing: Collected papers]. Moscow: MGUL, 2012, v. 358, pp. 126–131.
- [21] Storozhenko V.G. *Nauchnye osnovy ustoychivosti lesov k derevorazrushayushhim gribam* [The scientific foundations of forest sustainability to wood-destroying fungi]. Moscow: Nauka [Science], 1992, 221 p.
- [22] Naidu Y., Siddiqui Y., Rafiq M.Y., Saud H.M., Idris A.S. Investigating the effect of white-rot hymenomycetes biodegradation on basal stem rot infected oil palm wood blocks: Biochemical and anatomical characterization. *Industrial Crops and Products*, 2017, v. 108, pp. 872–882.
- [23] Falcon A. M., Rodriguez A., Carnicero A., Regalado V., Perestelo F., Milstein O., De La Fuente G. Isolation of microorganisms with potential for the transformation of lignin from the soil of the island of Tenerife. *Soil Biology and Biochemistry*, 1995, v. 27 (2), pp. 121–126.
- [24] Ivankin A.N., Fadeev G.N., Boldyrev V.S., Proshina O.P., Kulikovskiy V., Semenova A.A., Nasonova V.V. *Vkusoromatische komponenty receptur, formiruemye v prisutstvii bakterial'nykh kul'tur* [Food flavouring ingredients of food recipes developed in the presence of bacterial culture]. *Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*, 2017, v. 7, no. 3, pp. 124–136
- [25] Ivankin A.N., Oliferenko G.L., Kulikovskiy A.V., Chernuha I.M., Semenova A.A., Spiridonov K.I., Nasonova V.V. Determination of unsaturated fatty acids with a migrating double bond in complex biological matrices by gas chromatography with flame ionization and mass spectrometry detection. *Journal of Analytical Chemistry*, 2016, v. 71, no. 11, pp. 1131–1137.

Authors' information

Verevkin Alexey Nikolaevich — Cand. Sci. (Chem.), Associated Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), verevkin@mgul.ac.ru

Kononov Georgiy Nikolaevich — Cand. Sci. (Tech.), Associated 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

Serdyukova Yuliya Vladimirovna — Senior Lecturer of the BMSTU (Mytishchi branch), caf-htdip@mgul.ac.ru

Zaytsev Vladislav Dmitrievich — Postgraduate student of the BMSTU (Mytishchi branch), kelertak@bk.ru

Received 05.02.2019.

Accepted for publication 13.09.2019.

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ТИПОВОГО ДЕРЕВЯННОГО ДОМА В РАЗЛИЧНЫХ РЕГИОНАХ РОССИИ

З. Пастори¹, Г.А. Горбачева², В.Г. Санаев², З. Борчок¹

¹Инновационный центр, Шопронский университет, 9400, Венгрия, г. Шопрон, Байцы-Жилинская улица, д. 4

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

rector@mgul.ac.ru

Построена энергетическая модель типичного дома из клееного бруса площадью 108 м² с тремя различными типами окон. Виртуальная модель тепловых параметров здания создана с использованием программного обеспечения WinWatt. Годовая потребность в тепловой энергии была интегрирована из почасовых данных внутренней и наружной разности температур с помощью программы, разработанной для этой цели (программное обеспечение EnergiKalk). Определены затраты тепловой энергии, необходимой для предложенной модели дома, в российских городах с разным климатом, в частности Архангельске, Владивостоке, Иркутске, Краснодаре, Красноярске, Магадане, Москве, Омске, Санкт-Петербурге, Челябинске. Показано, что изменение коэффициента теплопередачи остекления с 3,5 на 1,4 и 0,7 Вт/м²·К привело к экономии энергии на 11,9 и 15,9 % соответственно. При понижении ночной температуры на 2 °С экономия составляет 2,7 % (1865 кВт·ч) в более холодной Магаданской обл., в то время как в теплом Краснодаре — 4,48 % (1151 кВт·ч). Проведенные расчеты показали, что Россия обладает значительным потенциалом для экономии энергии в деревянных жилых малоэтажных строениях.

Ключевые слова: типичный российский деревянный дом, затраты тепловой энергии, климатические регионы России, количество часов отопительного периода, энергосбережение

Ссылка для цитирования: Пастори З., Горбачева Г.А., Санаев В.Г., Борчок З. Энергосбережение типового деревянного дома в различных регионах России // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2019. Т. 23. № 5. С. 101–107. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-5-101-107

Энергоэффективность и энергосбережение входят в число приоритетных стратегических направлений развития технологий в экономике России, которая обладает одним из самых мощных в мире технических потенциалов повышения энергоэффективности [1]. Обеспечить использование этого резерва можно только вследствие проведения комплексной энергетической политики.

На долю жилого сектора в разных странах приходится 30–45 % всей потребляемой энергии, в зависимости от климатических условий и теплотехнических свойств зданий [2, 3]. Поскольку высока доля потребляемой энергии и она неэффективно используется, потенциал энергосбережения остается высоким благодаря, прежде всего тепловым свойствам зданий [4–7]. При строительстве и модернизации домов с повышенными энергетическими требованиями основной задачей является улучшение теплоизоляции, повышение энергоэффективности, снижение энергопотребления, что важно для окружающей среды и повышения экономической эффективности их эксплуатации [8–12].

Определяя тепловые характеристики здания, особое внимание следует уделять остеклению, так как теплопотери через окна могут значительно превосходить теплопотери через другие его части. Некоторые исследователи отмечают важность учета теплопотерь через окна в зданиях и рассматривают возможности использования солнечной энергии [13–14]. В работе [15] указано, что коэффициент теплопотерь через окна может

на 40 % превышать теплопотери, регламентированные действующим законодательством Норвегии [16]. На оптимальные тепловые параметры влияют размеры и ориентация окон, общая годовая потребность в энергии на отопление/охлаждение, которая напрямую связана с климатическими условиями [17].

Наряду с тепловыми параметрами зданий очень важное значение в определении энергии отопления/охлаждения имеет географическое положение здания и его размещение на местности. Для обеспечения одинаковых условий внутри здания необходимо разное количество энергии в различных погодных условиях и в зависимости от положения на местности. Россия по площади занимает лидирующую позицию среди самых больших стран мира (17 125 191 км²), простираясь от восточных рубежей Европы до западного берега северной части Тихого океана, и включает в себя несколько климатических поясов. Большая часть территории страны лежит в умеренном поясе, острова Северного Ледовитого океана и северные материковые районы — в арктическом и субарктическом поясах, Черноморское побережье России расположено в субтропическом поясе.

Подавляющее большинство жилых домов в сельской местности России — деревянные [18–19]. Многовековые традиции строительства деревянных домов, доступность древесных ресурсов и значительные запасы древесины на территории страны обусловили ее широкое использование

в качестве конструкционного материала. Правительством Российской Федерации разработаны программы по стимулированию рынка деревянного индустриального домостроения, что в перспективе приведет к увеличению ежегодных объемов производства деревянных домов в 2–3 раза. Толщина стены в 18–25 см из клееного бруса обеспечивает необходимые требования к характеристикам здания [20]. В СНиП 23-02-2003 установлены рекомендации для малоэтажных зданий, в том числе и для индивидуальных жилых строений, однако не регламентируется минимальное тепловое сопротивление конструкции стены.

Цель работы

Настоящая работа посвящена определению затрат тепловой энергии, необходимой для одного и того же деревянного дома в десяти российских городах с разным климатом, определению влияния остекления в общем объеме тепловых энергетических затрат для трех разных уровней изоляции в доме из клееного бруса и определению уровня энергосбережения за счет снижения температуры внутри деревянного дома (с 20 до 18 °С) в ночной период в десяти городах России.

Материалы и методы

С помощью моделирования методом конечных элементов построена тепловая энергетическая модель типового российского дома из клееного бруса. Десять одинаковых моделей разместили в перечисленных выше городах и определили потребность в тепловой энергии в зависимости от местного климата. Несмотря на то что солнечная энергия и сила ветра оказывают тоже значительное воздействие на затраты энергии на отопление, данных об этом для разных регионов страны нет. В связи с этим при проведении расчетов ориентация здания на местности не учитывалась. Отапливаемая площадь двухэтажного дома составляет 108 м², габариты — 10,40×9,40 м, фундамент — свайный с железобетонным ростверком. Структура ограждающих конструкций, крыши, потолка и пола приведена в табл. 1.

Стены дома выполнены из клееного бруса сечением 200×200 мм, значение коэффициента теплопередачи U составило 0,5 Вт/м²·К при коэффициенте теплопроводности 0,11 Вт/(м·К), сопротивлении теплоотдаче — 1/24, сопротивлении тепловосприятию — 1/8. Виртуальная модель тепловых параметров здания создана с использованием программного обеспечения WinWatt (<http://www.bausoft.hu>) на основе данных табл. 1.

Значения характеристик для каждой строительной детали были выбраны из базы данных программного обеспечения, которая содержит актуальные данные для большого количества стро-

Т а б л и ц а 1

Структура ограждающих конструкций

The structure of the building envelope

Ограждающая конструкция	Материал	Толщина, мм
Пол	Пиломатериал	40
	Гидроизоляция	1
	Балка 200×50	200
	Теплоизоляция rockwool	200
	Нижний настил	25
	Рейки	25
	Воздушный зазор Грунт	Не регл. Не регл.
Потолок	Пиломатериал	40
	Балка 200×50	200
	Теплоизоляция rockwool	150
	Пароизоляция	1
	Отделочная доска (евровагонка) Пиломатериал	20 40
Крыша	Металлочерепица	0,7
	Обрешетка	25
	Контробрешетка	25
	Гидроизоляция	2
	Стропило	200
	Теплоизоляция	150
	Пароизоляция Обрешетка	1 25
Стены	Клееный брус	200

ительных материалов. Расчеты модели проводились для трех вариантов остекления, имеющих три различных теплоизолирующих потенциала и коэффициенты теплопередачи (значение U) — 3,5, 1,4 и 0,7 Вт/м²·К, соответственно.

Эти значения учитывают тепловые параметры стекла и массу рамы пропорционально поверхности. Общая площадь окон составляет 18 м², в том числе рама. Тепловая конечно-элементная модель позволяет проводить расчеты теплотерь здания для каждой разности температур внутри помещения снаружи.

Годовая потребность в тепловой энергии была интегрирована из почасовых данных внутренней и наружной разности температур с помощью программы, разработанной для этой цели (программное обеспечение EnergiKalk) [21]. Программа позволяет определить энергозатраты одного и того же здания в разных климатических условиях и подсчитывает потребление тепловой энергии за определенный период, используя данные о погоде для этого города и внутренней температуры для здания. В зависимости от разницы температур внутри и снаружи здания рассчитывается расход тепловой энергии, затем путем интегрирования почасовых данных вычисляется потребление тепловой энергии дома в течение определенного периода. Годовое потребление энергии в одном варианте определялось для температуры внутри здания 20 °С. В другом варианте — температура

Города России разных климатических зон с указанием их географических координат, средних и экстремальных температур атмосферного воздуха в 2014 г.

Russian cities of different climatic zones with an indication of their geographical coordinates, average and extreme temperatures of atmospheric air in 2014

Город	Координаты		Температура, °С			Количество часов отопительного периода*
	с. ш.	в. д.	средняя	максимальная	минимальная	
Архангельск	64°33'	40°32'	2,4	32	-30	8246
Владивосток	43°07'	131°54'	5,4	32	-29	7258
Иркутск	52°17'	104°18'	1,0	31	-34	7926
Краснодар	45°02'	38°59'	12,6	37	-17	6125
Красноярск	56°00'43"	92°52'17"	1,3	35	-35	7927
Магадан	59°34'	150°48'	-4,2	27	-45	8627
Москва	55°45'21"	37°37'04"	6,4	33	-26	7592
Омск	54°58'	73°23'	2,1	35	-35	7707
Санкт-Петербург	59°57'	30°19'	6,6	33	-22	7808
Челябинск	55°09'44"	61°24'11"	2,9	32	-35	7877

*Количество часов отопительного периода при температуре внутри здания 20 °С.

внутри помещения была снижена до 18 °С в период между 22.00 и 06.00, в результате чего удалось уменьшить разницу между внутренней и внешней температурой и, следовательно, потери тепла. Рассчитанные затраты тепловой энергии позволили определить энергетические потребности здания.

Для моделирования выбрали города в разных климатических зонах: Архангельск, Владивосток, Иркутск, Краснодар, Красноярск, Магадан, Москву, Омск, Санкт-Петербург и Челябинск, — всего десять городов. При исследовании использовали типовой проект дома из клееного бруса, соответствующий нормам и требованиям СНиП и пригодный для любого из перечисленных городов. У каждого города есть гражданский аэропорт, метеоданные которого в период с 01.01.2014 г. по 31.12.2014 г. были использованы при моделировании. Точность данных проверили с помощью других метеостанций и установили их идентичность.

Климатические условия России требуют охлаждения внутренней температуры зданий преимущественно в течение короткого теплого периода года, поэтому системы кондиционирования используются не повсеместно. Так, затраты энергии на охлаждение нами не рассчитывались.

Рассмотрим местоположение и температуру воздуха указанных городов (табл. 2). Наибольшие амплитуды температуры отмечаются в Красноярске, самая низкая среднегодовая температура зафиксирована в Магадане, самая высокая — в Краснодаре. Наибольшим количеством часов отопительного периода характеризуется Магадан, наименьшим — Краснодар. Будучи самым северным из рассматриваемых городов, Архангельск не является самым холодным вследствие влияния

на климатические условия теплых морских течений. Большинству городов характерен континентальный климат. Количество часов отопительного периода зависит от многих факторов, в частности, географического положения, наличия морских течений, ветровых условий, высоты и рельефа местности. Для рассматриваемых городов России количество часов отопительного периода примерно одинаковое, несмотря на различие минимальных и максимальных значений температуры (см. табл. 2).

Результаты и обсуждение

С помощью программного обеспечения EnergiKalk рассчитаны ежегодные потребности в тепловой энергии для трех типов окон и двух видов суточных температурных ритмов в каждом из рассматриваемых городов, ежегодное потребное число часов для отопления как для внутренней температуры 20 °С, так и для пониженной температуры 18 °С в ночной период (табл. 3).

Согласно проведенным расчетам, количество тепловой энергии определяется преимущественно не количеством часов нагрева, а требуемой степенью нагрева. Максимальные затраты на энергию и самый продолжительный отопительный сезон характерны для Магадана, самые низкие затраты на энергию — для Краснодара. В Архангельске затраты на отопление не самые высокие, несмотря на продолжительный отопительный период. Для Иркутска, Красноярска и Омска получены большие затраты на тепловую энергию вследствие длительного отопительного сезона, значительной степени нагрева и низких средних температур. Энергопотребление здания в Московской области с коэффициентом теплопередачи окон 1,4 Вт/м²·К составляет 335 кВт·ч/м² в год

Т а б л и ц а 3

Затраты тепловой энергии
Thermal energy inputs

Город	Количество часов отопительного периода, ч °С		Затраты энергии, кВт·ч/год					
			постоянная температура 20 °С			температура ночью 18 °С и днем 20 °С		
	постоянная температура 20 °С	температура ночью 18 °С и днем 20 °С	коэффициент теплопередачи (Вт/м ² ·К)					
3,5			1,4	0,7	3,5	1,4	0,7	
Архангельск	155 599	150 633	51 534	45 390	43 336	49 671	43 749	41 769
Владивосток	132 475	129 008	43 510	38 322	36 590	42 219	37 186	35 504
Иркутск	169 550	165 361	55 775	49 123	46 904	54 217	47 751	45 593
Краснодар	77 357	74 183	25 710	22 645	21 618	24 559	21 632	20 651
Красноярск	167 009	162 086	55 077	48 509	46 317	53 205	46 861	44 743
Магадан	212 417	206 759	69 850	61 517	58 739	67 985	59 876	57 171
Москва	124 180	119 457	41 141	36 236	34 597	39 400	34 703	33 132
Омск	161 330	156 464	53 003	46 681	44 573	51 198	45 092	43 055
Санкт Петербург	120 797	116 254	40 211	35 416	33 813	38 539	33 945	32 407
Челябинск	152 980	148 560	50 396	44 386	42 379	48 724	42 914	40 973

Т а б л и ц а 4

Энергосбережение при пониженной ночной температуре

Energy saving at low night temperatures

Город	Затраты энергии при температуре ночью 18 °С и днем 20 °С, кВт·ч/год при коэффициенте теплопередачи (Вт/м ² ·К)			Экономия энергии, %	Снижение степени нагрева часа отопления, %
	3,5	1,4	0,7		
Архангельск	1863	1641	1567	3,62	3,19
Владивосток	1291	1136	1085	2,97	2,62
Иркутск	1558	1372	1311	2,79	2,47
Краснодар	1151	1013	968	4,48	4,10
Красноярск	1872	1648	1574	3,40	2,95
Магадан	1865	1641	1567	2,67	2,66
Москва	1741	1533	1464	4,23	3,80
Омск	1805	1589	1518	3,41	3,02
Санкт-Петербург	1673	1472	1406	4,16	3,76
Челябинск	1671	1471	1406	3,32	2,89

(см. табл. 3). Эти данные хорошо согласуются с расчетами, проведенными в системе GWD Engineering 2017, что составляет около 298 кВт·ч/м² в год [22].

Различные энергетические потребности при использовании разных видов окон можно сравнить, поскольку конфигурация и расположение дома на местности постоянны. Окно с наименьшей теплоизоляционной способностью и коэффициентом теплопередачи 3,5 Вт/м²·К принято за базовый вариант. Для окна, имеющего коэффициент теплопередачи 1,4 Вт/м²·К, отмечено снижение уровня энергозатрат на 11,9 %, а даль-

нейшее снижение теплопередачи до 0,7 Вт/м²·К уменьшает затраты на энергию дополнительно еще на 4 %. В самой холодной Магаданской обл. современные окна ($U = 0,7$ Вт/м²·К) позволяют экономить 11 МВт·ч энергии в год по сравнению с базовым вариантом 3,5 Вт/м²·К. В Краснодаре, где спрос на энергию наименьший, экономия составляет 4 МВт·ч. Результаты расчетов показывают энергопотребление здания при изменении степени отопления для разных типов окон. Изменение типа окон с $U = 1,4$ Вт/м²·К на $U = 0,7$ Вт/м²·К привело к существенно меньшей (~4 %) экономии энергии.

При снижении температуры с 20 до 18 °С в период с 22.00 до 06.00 потребление энергии можно уменьшить на 4,5 %, в зависимости от погодных условий, характерных для данного района (табл. 4). За счет снижения внутренней температуры уменьшается также степень нагрева (см. табл. 4).

Экономия в Магадане при наибольших затратах на отопление составляет 1865 кВт·ч (2,67 %), в Краснодаре — 1151 кВт·ч (4,48 %). Энергосбережение в Магадане почти в 1,5 раза превышает абсолютное значение в Краснодаре, однако в относительных величинах показывает меньшую долю, что связано с большими энергозатратами. Таким образом, при больших энергозатратах значительной экономии можно достичь при снижении температуры внутри помещения в ночной период, а при использовании остекления с более низкими значениями коэффициента теплопередачи, можно повысить энергосбережение.

Выводы

Города, расположенные в самых теплых регионах России должны отапливаться почти 70 % времени в течение года, в то время как на самых холодных территориях города нуждаются в отоплении более 98 % времени всего года. Благодаря длительному отопительному периоду незначительное улучшение изоляции экономит большое количество энергии, поэтому использование окон с меньшей теплопроводностью и понижение температуры внутри помещений в ночное время снижает затраты на тепловую энергию на 20 % в большинстве регионов России.

От теплопроводности окон существенно зависит объем тепловых потребностей здания. По сравнению двухрамным однослойным остеклением ($U = 3,5 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$) однокамерные стеклопакеты с теплоизоляционным остеклением, низкоэмиссионным покрытием и заполнением аргоном ($U = 1,4 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$) могут обеспечить значительную экономию. Двухкамерные стеклопакеты с тремя слоями остекления и максимальной изоляцией ($U = 0,7 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$) могут снизить потребность здания в тепловой энергии почти на 1/6 и это не мало, особенно с учетом малой площади поверхности окон.

Для рассматриваемых городов снижение ночной температуры внутри здания на 2 °С может сохранить от 2,67 до 4,48 % необходимой энергии, в зависимости от потребности в отоплении и климата региона. Так экономить энергию можно без дополнительных инвестиций.

Следовательно, полученные результаты показали возможные пути энергосбережения в жилых деревянных домах в пределах России, которая обладает значительным потенциалом для экономии

энергии. В связи с этим рекомендуется повышение стандартов в области энергетике зданий и их модернизация.

Представленная работа выполнена в рамках проекта «Sustainable Raw Material Management Thematic Network — RING 2017», EFOP-3.6.2-16-2017-00010 project in the framework of the Széchenyi 2020 Program. Реализация данного проекта осуществляется при финансовой поддержке Европейского Союза (European Union) и совместном финансировании со стороны Европейского Социального Фонда (European Social Fund).

Список литературы

- [1] Пилипенко Н.В., Сиваков И.А. Энергосбережение и повышение энергетической эффективности инженерных систем и сетей. СПб.: НИУ ИТМО, 2013. 274 с.
- [2] Swan L.G., Ugursal V.I. Modeling of end-use energy consumption in the residential sector: A review of modeling techniques // Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2009, no. 13 (8), pp. 1819–1835. DOI: 10.1016/j.rser.2008.09.033
- [3] Estiri H. The indirect role of households in shaping US residential energy demand patterns // Energy Policy, 2015, no. 86, pp. 585–594. DOI: 10.1016/j.enpol.2015.08.008
- [4] Balaras C., Drousa K., Dascalaki E., Kontoyiannidis S. Heating energy consumption and resulting environmental impact of European apartment buildings // Energy and Buildings, 2005, no. 37, pp. 429–442. DOI: 10.1016/j.enbuild.2004.08.003
- [5] Harvey L.D.D. Reducing energy use in the buildings sector: measures, costs, and examples // Energy Efficiency, 2009, no. 2, pp. 139–163. DOI 10.1007/s12053-009-9041-2
- [6] Lechtenböhrer S., Schüring A. The potential for large-scale savings from insulating residential buildings in the EU // Energy Efficiency, 2010, no. 4(2), pp. 257–270. DOI: 10.1007/s12053-010-9090-6
- [7] Nyers J., Tomić S., Nyers A. Economic optimum of thermal insulating layer for external wall of brick // Acta Polytechnica Hungarica, 2014, no. 11(7), pp. 209–222.
- [8] Arumägi E., Kalamees T. Analysis of energy economic renovation for historic wooden apartment buildings in cold climates // Applied Energy, 2014, no. 115, pp. 540–548. DOI: 10.1016/j.apenergy.2013.10.041
- [9] Basinska M., Koczyk H., Szczechowiak E. Sensitivity analysis in determining the optimum energy for residential buildings in Polish conditions // Energy and Buildings, 2015, no. 107, pp. 307–318. DOI:10.1016/j.enbuild.2015.08.029
- [10] Jermyn D., Richman R. A process for developing deep energy retrofit strategies for single-family housing typologies: Three Toronto case studies // Energy and Buildings, 2016, no. 116, pp. 522–534. DOI: 10.1016/j.enbuild.2016.01.022
- [11] Skarning G. C. J., Hviid C. A., Svendsen S. Roadmap for improving roof and facade windows in nearly zero-energy houses in Europe // Energy and Buildings, 2016, no. 116, pp. 602–613. DOI: 10.1016/j.enbuild.2016.01.038
- [12] Пастори З., Борчок З., Горбачева Г.А. Баланс CO₂ различных видов стеновых конструкций // Строительные материалы, 2015. № 12. С. 76–77.
- [13] Grynning S., Gustavsen A., Time B., Jelle B.P. Windows in the buildings of tomorrow: Energy losers or energy gainers? // Energy and Buildings, 2013, no. 61, pp. 185–192. DOI: 10.1016/j.enbuild.2013.02.029

- [14] Arici M., Karabay H., Kan M. Flow and heat transfer in double, triple and quadruple pane windows // *Energy and Buildings*, 2015, no. 86, pp. 394–402. DOI: 10.1016/j.enbuild.2014.10.043
- [15] Grynning S., Time B., Uvsløkk S. An overview and some reflections on energy saving potentials by heat loss reduction through the building envelope // Project report to be published within the Research Centre on Zero Emission Buildings, 2011.
- [16] TEK 2010. Technical regulations to the Norwegian building regulations, Forskrift om tekniske krav til byggverk (Byggteknisk forskrift), 2010. URL: https://lovdata.no/dokument/SFO/forskrift/2010-03-26-489/KAPITTEL_1-1#%C2%A71-1 (дата обращения 18.12.2018).
- [17] Jaber S., Ajib S. Thermal and economic windows design for different climate zones // *Energy and Buildings*, 2011, no. 43, pp. 3208–3215. DOI: 10.1016/j.enbuild.2011.08.019
- [18] Ефимов Е.М. Деревянное домостроение в России: состояние, проблемы и перспективы развития // *Бизнес в законе. Экономико-юридический журнал*, 2011. № 2. С. 239–241.
- [19] Петрова З.К. Проблема развития малоэтажной жизнеобеспечивающей жилой застройки в России и мире // *Градостроительство*, 2012. № 4 (20). С. 59–66.
- [20] СНиП 23-02-2003 Строительные нормы и правила Российской Федерации. «Тепловая защита зданий». М.: Стройиздат, 2003. 30 с.
- [21] Vados M. Épületek hővesztésének integrált energetikai modellezése (Integral energetic model of thermal loss of buildings). Thesis. Sopron: University of West Hungary, BSc. 2013.
- [22] GWD Engineering 2017. Руководство по выбору топлива системы отопления. URL: <http://www.gwde.ru/articles/rukovodstvo-po-vyboru-topliva-sistemy-otopleniya/> (дата обращения 27.03.2017).

Сведения об авторах

Пастори Золтан — Ph.D, директор Инновационного центра, Шопронский университет, Венгрия, pasztory.zoltan@uni-sopron.hu

Горбачева Галина Александровна — канд. техн. наук, доцент кафедры древесиноведения и технологии деревообработки, МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), gorbacheva@bmstu.ru

Санаев Виктор Георгиевич — д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой древесиноведения и технологии деревообработки, директор Мытищинского филиала ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана» (национальный исследовательский университет), rector@mgul.ac.ru

Борчок Золтан — Ph.D, исследователь Инновационного центра, Шопронский университет, Венгрия, borcsok.zoltan@uni-sopron.hu

Поступила в редакцию 18.03.2019.

Принята к публикации 27.03.2019.

HEATING ENERGY DEMAND SAVINGS OF TYPICAL LOG HOME IN DIFFERENT REGIONS OF RUSSIA

Z. Pásztor¹, G.A. Gorbacheva², V.G. Sanaev², Z. Börcsök¹

¹University of Sopron, Innovation Center, Bajcsy-Zsilinszky utca 4, 9400, Sopron, Hungary

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

rector@mgul.ac.ru

The problem of energy saving is crucial for improving energy efficiency in the residential sector. Russia has one of the world's largest technical potential to improve energy efficiency. An energy model of a typical Russian log home (108 m²) with three different types of windows was built. The virtual thermal parameter model of the building was created in WinWatt software. The yearly heat energy demand was integrated from the hourly data of the inner and outer temperature difference with the help of a program made for this purpose (EnergiKalk software). One year energy demands of the model in ten different cities of the Russia with different climates were examined such as Arkhangelsk, Vladivostok, Irkutsk, Krasnodar, Krasnoyarsk, Magadan, Moscow, Omsk, St. Petersburg, Chelyabinsk. Cities in the warmest areas require heating in 70 % of the year while city in the coldest places need heating for more than 98 % of the year. It was shown, that the changing the 3,5 W/m²K thermal insulation capacity windows to 1,4 W/m²K and 0,7 W/m²K windows caused an energy saving of 11,9% and 15,9 % heating energy respectively. If the night temperature is reduced by 2 degrees Celsius it results a 2,7 % (1865 kWh) saving in the colder Magadan region, while in the Mediterranean Krasnodar, there was a 4,48 % (1151 kWh) saving of the net heating energy amount. Based on the calculations it can be concluded that Russia possesses a significant heating potential savings in residential sector.

Keywords: Russian log house, heating energy demand, climatic regions of Russia, heating degree hours, energy savings

Suggested citation: Pásztor Z., Gorbacheva G.A., Sanaev V.G., Börcsök Z. *Energosberezhenie tipichnogo derevyannogo doma v razlichnykh regionakh Rossii* [Heating energy demand savings of typical log home in different regions of Russia]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2019, vol. 23, no. 5, pp. 101–107.

DOI: 10.18698/2542-1468-2019-5-101-107

References

- [1] Pilipenko N.V., Sivakov I.A. *Energoberezhenie i povyshenie energeticheskoy effektivnosti inzhenernykh sistem i setey* [Energy saving and energy efficiency of engineering systems and networks: textbook]. Saint Petersburg: ITMO, 2013, 274 p.
- [2] Swan L.G., Ugursal V.I. Modeling of end-use energy consumption in the residential sector: A review of modeling techniques. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2009, no. 13 (8), pp. 1819–1835. DOI: 10.1016/j.rser.2008.09.033
- [3] Estiri H. The indirect role of households in shaping US residential energy demand patterns. *Energy Policy*, 2015, no. 86, pp. 585–594. DOI: 10.1016/j.enpol.2015.08.008
- [4] Balaras C., Drousa K., Dascalaki E., Kontoyiannidis S. Heating energy consumption and resulting environmental impact of European apartment buildings. *Energy and Buildings*, 2005, no. 37, pp. 429–442. DOI: 10.1016/j.enbuild.2004.08.003
- [5] Harvey L.D.D. Reducing energy use in the buildings sector: measures, costs, and examples. *Energy Efficiency*, 2009, no. 2, pp. 139–163. DOI 10.1007/s12053-009-9041-2
- [6] Lechtenböhmer S., Schüring A. The potential for large-scale savings from insulating residential buildings in the EU. *Energy Efficiency*, 2010, no. 4(2), pp. 257–270. DOI: 10.1007/s12053-010-9090-6
- [7] Nyers J., Tomić S., Nyers A. Economic optimum of thermal insulating layer for external wall of brick. *Acta Polytechnica Hungarica*, 2014, no. 11(7), pp. 209–222.
- [8] Arumägi E., Kalamees T. Analysis of energy economic renovation for historic wooden apartment buildings in cold climates. *Applied Energy*, 2014, no. 115, pp. 540–548. DOI: 10.1016/j.apenergy.2013.10.041
- [9] Basinska M., Koczyk H., Szczechowiak E. Sensitivity analysis in determining the optimum energy for residential buildings in Polish conditions. *Energy and Buildings*, 2015, no. 107, pp. 307–318. DOI:10.1016/j.enbuild.2015.08.029
- [10] Jermyn D., Richman R. A process for developing deep energy retrofit strategies for single-family housing typologies: Three Toronto case studies. *Energy and Buildings*, 2016, no. 116, pp. 522–534. DOI: 10.1016/j.enbuild.2016.01.022
- [11] Skarving G. C. J., Hviid C. A., Svendsen S. Roadmap for improving roof and facade windows in nearly zero-energy houses in Europe. *Energy and Buildings*, 2016, no. 116, pp. 602–613. DOI: 10.1016/j.enbuild.2016.01.038
- [12] Pastori Z., Borchok Z., Gorbacheva G.A. *Balans CO₂ razlichnykh vidov stenovykh konstruktsiy* [CO₂ balance of different types of wall constructions] *Stroitel'nye materialy* [Building materials], 2015, no. 12, pp. 76–77.
- [13] Grynning S., Gustavsen A., Time B., Jelle B.P. Windows in the buildings of tomorrow: Energy losers or energy gainers?. *Energy and Buildings*, 2013, no. 61, pp. 185–192. DOI: 10.1016/j.enbuild.2013.02.029
- [14] Arici M., Karabay H., Kan M. Flow and heat transfer in double, triple and quadruple pane windows. *Energy and Buildings*, 2015, no. 86, pp. 394–402. DOI: 10.1016/j.enbuild.2014.10.043
- [15] Grynning S., Time B., Uvsløkk S. An overview and some reflections on energy saving potentials by heat loss reduction through the building envelope. Project report to be published within the Research Centre on Zero Emission Buildings, 2011.
- [16] TEK 2010. Technical regulations to the Norwegian building regulations, Forskrift om tekniske krav til byggverk (Byggteknisk forskrift), 2010. URL: https://lovdata.no/dokument/SFO/forskrift/2010-03-26-489/KAPITTEL_1-1#%C2%A71-1 (accessed 18.12.2018).
- [17] Jaber S., Ajib S. Thermal and economic windows design for different climate zones. *Energy and Buildings*, 2011, no. 43, pp. 3208–3215. DOI: 10.1016/j.enbuild.2011.08.019
- [18] Efimov E.M. *Derevyannoe domostroenie v Rossii: sostoyanie, problemy i perspektivy razvitiya* [Wooden housing construction in Russia: state, problems and prospects of development] *Biznes v zakone. Ekonomiko-yuridicheskiy zhurnal* [Business in law. Economic and legal journal]. 2011, no. 2, pp. 239–241.
- [19] Petrova Z.K. *Problema razvitiya maloetazhnoy zhizneobespechivayushchey zhiloy zastroyki v Rossii i mire* [The problem of development of low-rise life-supporting housing in Russia and abroad] *Gradostroitel'stvo* [Urban planning], 2012, no. 4 (20), pp. 59–66.
- [20] *SNiP 23-02-2003 Stroitel'nye normy i pravila Rossiyskoy Federatsii. «Teplovaya zashchita zdaniy»* [SNiP 23-02-2003 Building codes and regulations of Russian Federation. «Thermal performance of the buildings»]. Moscow: Stroyizdat, 2003, 30 p.
- [21] Vados M. *Épületek hőveszteségének integrált energetikai modellezése* (Integral energetic model of thermal loss of buildings). Thesis. Sopron: University of West Hungary, BSc. 2013.
- [22] GWD Engineering 2017. *Rukovodstvo po vyboru topliva sistemy otopleniya* [Guide to choosing fuel heating system]. Available at: <http://www.gwde.ru/articles/rukovodstvo-po-vyboru-topлива-sistemy-otopleniya/> (accessed 27.03.2017).

Authors' information

Pásztor Zoltán — Ph.D, Director of Innovation Center, University of Sopron,
pasztor.zoltan@uni-sopron.hu

Gorbacheva Galina Aleksandrovna — Cand. Sci. (Tech.), Associated Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), gorbacheva@bmstu.ru

Sanaev Victor Georgievich — Dr. Sci.(Tech.), Professor, Head of Department of Wood Science and Technology, Director of BMSTU (Mytishchi branch), rector@mgul.ac.ru

Zoltán Börcsök — Ph.D, Researcher of Innovation Center, University of Sopron,
borcsok.zoltan@uni-sopron.hu

Received 18.03.2019.

Accepted for publication 27.03.2019.

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В.И. Запруднов¹, Н.Г. Серегин²

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

²ФГБОУ ВО «Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), 129337, г. Москва, Ярославское ш., д. 26

zaprudnov@mgul.ac.ru

Рассмотрены методы и средства мониторинга технического состояния строительных конструкций. Дана классификация методов, проведен их сравнительный анализ. Подробно классифицированы средства мониторинга. Проанализированы их достоинства и недостатки. Показано, что основными средствами мониторинга технического состояния строительных конструкций являются тензометрические и волоконно-оптические преобразователи. Представлено подробное описание тензометрических преобразователей. Обоснована перспективность применения для решения задач мониторинга строительных конструкций волоконно-оптических преобразователей. Проведен анализ работ по применению волоконно-оптических преобразователей для измерения деформаций строительных конструкций. Рассмотрен метод волоконно-оптической низкокогерентной интерферометрии, проанализированы его достоинства и представлены преимущества для измерения деформаций строительных конструкций. Приведены схема и образец крепежного элемента для измерения деформаций строительных конструкций, а также результаты испытаний этого образца. Сделаны выводы и сформулированы направления дальнейших исследований.

Ключевые слова: деформации строительных конструкций, геодезические методы мониторинга строительных конструкций, динамические методы мониторинга строительных конструкций, тензометрические преобразователи, акустические пьезопреобразователи, молекулярно-электронные преобразователи, волоконно-оптические преобразователи

Ссылка для цитирования: Запруднов В.И., Серегин Н.Г. Методы и средства мониторинга технического состояния строительных конструкций // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2019. Т. 23. № 5. С. 108–115. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-5-108-115

Мониторинг технического состояния строительных конструкций — специально организованное, систематическое наблюдение за состоянием строительных конструкций, явлений и процессов, происходящих в них, в целях их оценки, контроля или прогноза [1].

В соответствии с нормативно-технической литературой целью мониторинга технического состояния строительных конструкций является обеспечение надежности системы «основание — сооружение», недопущение негативных изменений окружающей среды, разработка технических решений для предупреждения и устранения отклонений, превышающих предусмотренные в проекте, а также осуществление контроля выполнения принятых решений.

Здания высотой более 75 м относятся к категории высотных и составляют особенность силуэтов современных крупных городов. Обеспечение безопасности при строительстве и эксплуатации высоток требует постоянного мониторинга их технического состояния. Поскольку высотные здания являются сложными инженерными сооружениями, возникает необходимость контроля их технического состояния и бесперебойного функционирования отдельных узлов таких зданий и конструкций в целом, инженерных сетей и коммуникаций, поведения прифундаментных

грунтовых массивов и т. д. Все эти элементы взаимосвязаны и составляют единую систему мониторинга технического состояния здания, комплексно объединяющую набор отдельных технических решений. Важными вопросами создания систем мониторинга технического состояния строительных конструкций являются вопросы выбора методов и средств мониторинга.

Требования проведения инструментального мониторинга технического состояния строительных конструкций содержатся в Московских городских строительных нормах МГСН 4.19–2005 [2], которыми руководствуются не только при возведении высотных зданий и многофункциональных комплексов в Москве, но и в других городах России, а также в ГОСТ Р 53778–2010. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния [3]. Нормативы Европы [4] предусматривают наблюдение за состоянием строительных конструкций и грунтов фундаментов, но не содержат конкретные указания по методам проведения инструментального мониторинга. Вследствие развития информационно-измерительных систем и средств цифровой обработки сигналов [5–8] в настоящее время имеются большие возможности для мониторинга технического состояния строительных конструкций, широкий выбор методов и средств мониторинга.

Важно для каждого конкретного строительного объекта в пределах заданных технико-экономических показателей подобрать оптимальный вариант методов и средств мониторинга.

Цель работы

Поставлена задача рассмотреть методы и средства мониторинга технического состояния строительных конструкций, дать подробную классификацию методов и средств мониторинга, провести их сравнительный анализ, проанализировав достоинства и недостатки.

Материалы и методы

Существуют четыре основных вида методов мониторинга технического состояния строительных конструкций:

- 1) геодезические методы;
- 2) обследования технического состояния конструкций;
- 3) определение величин нагрузок, напряжений и деформаций в конструкциях с помощью технических средств измерений;
- 4) динамические методы.

Геодезические методы проводят как с помощью традиционных нивелиров, так и применяя современные цифровые первичные преобразователи (датчики) спутниковые GPS-технологии и лазерное сканирование строительных конструкций. Геодезические методы позволяют определять перемещение строительных конструкций в пространстве, измерять их осадки и крены. Получаемые данные соответствуют состоянию конструкций на момент измерений, т. е. реализуются разовые замеры, но нет постоянной информации о динамике поведения строительной конструкции.

Обследования технического состояния строительных конструкций чаще проводят путем оценки состояния грунтового массива в основании здания или сооружения. Они зависят от уровня решаемых задач по трудоемкости, стоимости, разрешающей способности, информативности и могут осуществляться от измерений в отдельных скважинах до межскважинного состояния, вплоть до получения трехмерного томографического изображения.

В зависимости от выбора средств мониторинга технического состояния строительных конструкций допускается мониторинг дифференциальных послойных или суммарных осадок грунтов в основаниях конструкций, уровней грунтовых вод, давления в породах и т. д.

Кроме исследования скважин методы обследования технического состояния строительных конструкций позволяют получать важную информацию при размещении под фундаментной

плитой сети датчиков давления на грунт, а в сваях датчиков измерения — вертикальных нагрузок. Обследования технического состояния строительных конструкций проводят непрерывно, поэтому есть возможность отслеживать динамику изменения технического состояния конструкций.

Определение величин нагрузок, напряжений и деформаций в конструкциях с помощью технических средств измерений осуществляют набором инструментов с применением вибрационных датчиков напряжений, размещаемых в фундаментной плите, а также в стенах, пилонах колонн зданий. Исследования проводят непрерывно, в автоматическом режиме.

Динамические методы выполняют различными измерительными устройствами — деформографами, наклономерами, сейсмометрами, велосиметрами, акселерометрами и т. д. Схемы динамических наблюдений разнообразны и включают в себя как варианты искусственного возбуждения колебаний зданий вибраторами, так и возбуждение колебаний естественными воздействиями, например ветром. Динамические методы обеспечивают постоянную картину состояния строительной конструкции, наблюдая которую можно получить полный спектр информации об особенностях динамики зданий и сооружений.

Рассмотренные выше три вида методов мониторинга технического состояния строительных конструкций позволяют исследовать в основном непосредственно величины осадок, нагрузок, а регистрация колебаний требует достаточно сложной предварительной подготовки и создания моделей динамики строительных конструкций, поэтому это выполняют динамическими методами. Причем схемы исследований динамическими методами могут быть достаточно простыми [9]. Кроме того, динамические методы позволяют контролировать не только величину ускорений, но и судить о совместной работе здания и грунтов в его основании, а также обнаружить неизвестные ранее явления.

Мониторинг технического состояния строительных конструкций, а именно оценку изменения их несущей способности, можно проводить путем измерения действующих нагрузок на конструкции, относительных деформаций и перемещений конструктивных элементов, соответствующих изменению внутренних усилий и напряжений в их сечениях. Для этого применяют информационно-измерительные системы, оснащенные первичными преобразователями (датчиками), характеризующимися принципом действия, контролируемыми параметрами, диапазоном измерений, точностью измерений и чувствительностью.

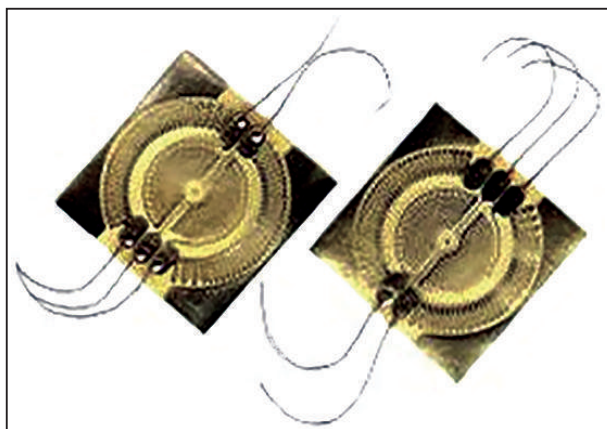


Рис. 1. Проволочные тензодатчики
Fig. 1. Wire strain gauges

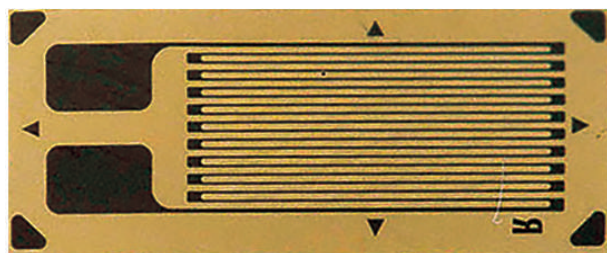


Рис. 2. Тензодатчики из фольги
Fig. 2. Foil strain gauges

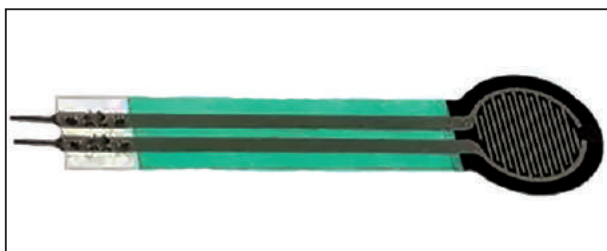


Рис. 3. Пленочные тензодатчики
Fig. 3. Film strain gauges

В настоящее время нашли применение в информационно-измерительных системах мониторинга технического состояния строительных конструкций следующие первичные преобразователи (датчики):

- тензометрические;
- акустические пьезопреобразователи;
- молекулярно-электронные;
- волоконно-оптические.

Тензометрические датчики преобразуют деформации строительных конструкций в электрический сигнал. Это происходит за счет изменения электрического сопротивления датчика в процессе возникновения деформации измеряемого устройства [10]. Тензометрические датчики могут иметь различные исполнения: проволочные тензодатчики, тензодатчики из фольги, пленочные тензодатчики.

Проволочные тензодатчики (рис. 1) наклеивают на поверхности конструкций, поскольку они обеспечивают высокую точность измерения нагрузки от сотых долей грамма до тонны. Их называют одноточечными, так как в отличие от тензодатчиков из фольги и пленочных измерение происходит не по площади, а в одной точке. Проволочными тензодатчиками можно контролировать сжатие и растяжение. Сжатие или растяжение конструкции вызывает соответствующее сжатие или растяжение проволоки, что обуславливает изменение ее электрического сопротивления. В пределах упругих деформаций относительное изменение сопротивления проволоки связано с ее относительным удлинением следующим образом:

$$\Delta R / R = K_t \Delta l / l,$$

где l, R — соответственно начальная длина и сопротивление проволоки;

$\Delta l, \Delta R$ — соответственно приращения длины и сопротивления проволоки;

K_t — коэффициент тензочувствительности.

Значение коэффициента тензочувствительности зависит от свойств материала, из которого изготовлены тензодатчики, а также от способа их крепления к конструкции. Коэффициент тензочувствительности проволочных тензодатчиков варьирует в диапазоне от 1 до 3,5. Наиболее употребляемым материалом для изготовления проволочных тензодатчиков является константановая проволока диаметром 20...30 мкм.

Усовершенствованным вариантом проволочных тензодатчиков являются тензодатчики из фольги и пленочные. Их чувствительные элементы — решетка из полосок фольги и тончайшая металлическая пленка.

Тензодатчики из фольги (рис. 2) также наклеивают на поверхности и изготавливают из фольговой ленты толщиной 12 мкм. Как было указано выше, измерения в них происходят по площади. Эти датчики можно применять при низких температурах.

Пленочные тензодатчики (рис. 3) изготавливают из тензочувствительных пленок, имеющих специальное напыление, повышающее чувствительность датчиков. Пленки изготовлены из германия, висмута, титана. Пленочные тензодатчики, так же, как и тензодатчики из фольги, проводят измерения по площади и удобны для измерения динамических нагрузок.

Пленочные тензодатчики измеряют напряжения и деформации в конструкции высотного комплекса «Континенталь» в Москве [1], (рис. 4, а), струнные тензодатчики — в конструкции 828-метровой башни Бурдж-Халифа в Дубае (ОАЭ) [11, 12], (рис. 4, б).



а



б

Рис. 4. Тензодатчики в конструкциях: а — высотный комплекс «Континенталь» в Москве; б — башня Бурдж-Халифа в Дубае (ОАЭ)

Fig. 4. Strain gauges in the structures: а — Continental high-rise complex in Moscow; б — Burj Khalifa Tower in Dubai (UAE)

Струнные тензодатчики применяют для контроля напряженно-деформированного состояния стальных и железобетонных конструкций. Закладные струнные тензодатчики укладывают непосредственно перед заливкой в бетон для измерений деформаций в наиболее нагруженных, по результатам расчетов, конструктивных элементах зданий и сооружений.

Акустические пьезопреобразователи являются чувствительными элементами со спектральным анализом сигналов от волн напряжений в конструкциях, находящихся под напряжением, основаны на измерениях ряда акустических параметров строительных материалов. Установка этих преобразователей возможна как внутри конструкции при строительстве, так и на поверхностях конструкций в период эксплуатации.

Молекулярно-электронные преобразователи — это стационарные датчики пространственно-временного анализа. Они позволяют с высокой точностью фиксировать смещения строительных конструкций, колебания, нормальную и тангенциальную деформации, коррозионные изменения и др.

Волоконно-оптические датчики предназначены для контроля деформаций (перемещений) в элементах строительных конструкций. В основу их действия положена зависимость коэффициента отражения света в чувствительном элементе датчика, жестко связанного с контролируемым строительным конструктивным элементом, от величины деформации этого элемента. Волоконно-оптические датчики, объединенные в единую информационно-измерительную систему, позволяют контролировать не только деформации, но и изменения нагрузок, температуры, влажности, вибраций строительных конструкций и т. д.

Волоконно-оптические датчики в текущем столетии находят широкое применение в различ-

ных областях хозяйственной деятельности, благодаря проведенным в последние годы успешным научным исследованиям [5–8, 13–22].

Результаты и обсуждение

Известен опыт практического применения волоконно-оптических датчиков на основе волоконных брэгговских решеток и распределенные датчики на основе эффекта Рамана [18].

Брэгговские решетки записывают в оптическом волокне ультрафиолетовым лазером. Они представляют собой участки световода с периодическим изменением показателя преломления вдоль оси. При механическом и температурном воздействии изменяются период и показатель преломления брэгговской решетки, вследствие чего происходит смещение длины волны отраженного света. Измеряя значение этого смещения, можно определить относительную деформацию строительной конструкции и изменение температуры ее элементов. Для разделения одновременного воздействия деформации и температуры применяют две брэгговские решетки, одна из которых изолирована от механических воздействий. По ней фиксируют сдвиги длины волны из-за температурных воздействий. Это позволяет учесть влияние температуры на вторую брэгговскую решетку, а также тепловое расширение строительной конструкции, к которой прикреплен датчик, и измерить деформацию исследуемой конструкции.

Распределенный датчик температуры на основе эффекта Рамана состоит из импульсного лазера и подключенного к источнику оптического волокна, являющегося чувствительным элементом. Смысл рамановского рассеяния состоит в обмене энергией между падающим фотоном и молекулой вещества. Прямым процессом рамановского рассеяния является переход молекулы из основного

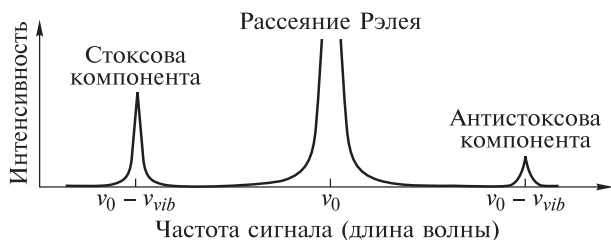


Рис. 5. Спектр рассеянного импульса
 Fig. 5. The spectrum of the scattered momentum

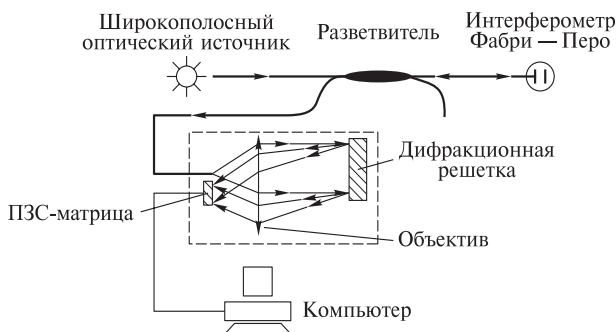


Рис. 6. Схема экспериментальной установки для измерения базы интерферометра Фабри — Перо
 Fig. 6. Scheme of an experimental setup for measuring the base of a Fabry — Perot interferometer

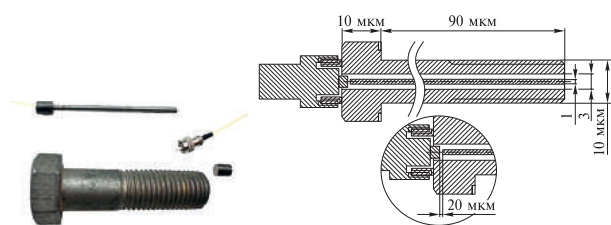


Рис. 7. Крепежный элемент строительной конструкции и его схема
 Fig. 7. The fastener of the building structure and its scheme

колебательного состояния в возбужденное, вследствие чего рассеянный фотон смещается по частоте в красную область спектра и генерируется стоксова компонента. Однако возможен и обратный процесс, при котором структурная молекула теряет энергию, и перерассеянный фотон с более высокой энергией генерирует антистоксову линию в синей области спектра относительно линии накачки (рис. 5).

Безусловно, заселенность возбужденного уровня непосредственно зависит от температуры вещества, следовательно, интенсивность антистоксовой компоненты проявит температурную зависимость, т. е., регистрируя временную динамику интенсивности антистоксовой компоненты при зондировании импульсным излучением, с помощью такого датчика можно измерять температуру вдоль всего волокна.

Одним из наиболее перспективных и практических решений измерения деформаций (пере-

мещений) строительных конструкций являются методы низкокогерентной волоконно-оптической интерферометрии, в которых применяют низкокогерентные источники света [13]. Главным их достоинством является высокая точность измерений, которая не зависит от флуктуации оптической мощности в линии, а также значительная дистанционность измерений и возможность создания миниатюрных чувствительных элементов волоконно-оптических датчиков.

Разработана схема экспериментальной установки, реализующей спектральный метод низкокогерентной волоконно-оптической интерферометрии [13], (рис. 6), в которой в качестве чувствительного элемента волоконно-оптического датчика применен интерферометр Фабри — Перо.

Экспериментальная установка состоит из источника излучения, волоконно-оптической линии с разветвителем и спектрометра. Спектрометр включает в себя отражательную дифракционную решетку, объектив и ПЗС-матрицу (прибор с зарядовой связью).

В качестве примера применения метода низкокогерентной волоконно-оптической интерферометрии для измерений деформаций (перемещений) строительных конструкций рассмотрен крепежный элемент (рис. 7) [22].

На рис. 8 представлен спектр отраженного сигнала от интерферометра Фабри — Перо, являющегося чувствительным элементом волоконно-оптического датчика, который установлен в крепежный элемент строительной конструкции, при отсутствии (рис. 8, а) и при наличии (рис. 8, б) осевой нагрузки на крепежный элемент, вызывающей его осевую деформацию [22]. Точность измерения деформации составляет 0,3 мкм, что является достаточным для решения поставленной задачи.

Выводы

1. Рассмотренные методы измерения деформаций (перемещений) строительных конструкций позволяют найти наиболее перспективный и практичный из них, а именно метод низкокогерентной волоконно-оптической интерферометрии.

2. Представленная экспериментальная установка для измерения базы интерферометра Фабри — Перо позволяет проводить измерения с погрешностью не более ± 50 нм в диапазоне измерений от 50 до 400 мкм.

3. В дальнейшем целесообразно доработать масштаб применения метода низкокогерентной волоконно-оптической интерферометрии и чувствительного элемента волоконно-оптического датчика, что позволит повысить точность измерения деформаций (перемещений) строительных конструкций до ± 20 нм.

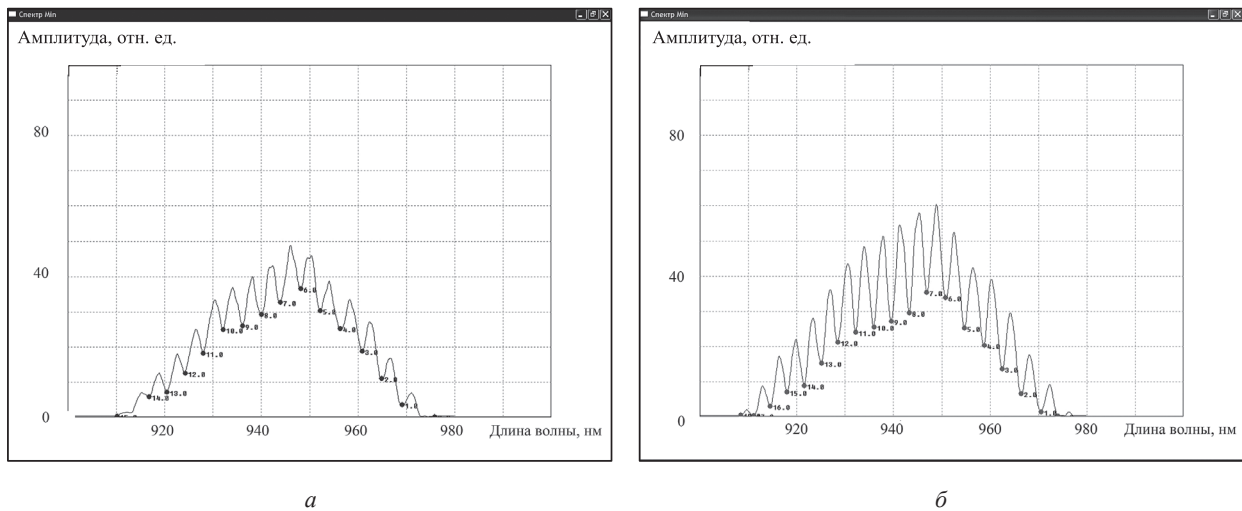


Рис. 8. Спектр отраженного сигнала от интерферометра Фабри — Перо: *a* — при отсутствии нагрузки на крепежное устройство; *b* — при растяжении крепежного устройства

Fig. 8. The spectrum of the reflected signal from the Fabry — Perot interferometer: *a* — in the absence of load on the mounting device; *b* — when stretching the mounting device

4. Проведенные исследования волоконно-оптического датчика, предназначенного для измерения деформаций конструктивных строительных элементов, подтвердили его точность и надежность. Точность измерения деформаций составляет 0,3 мкм.

Список литературы

- [1] Леденев В.В., Ярцев В.П. Обследование и мониторинг строительных конструкций зданий и сооружений. Тамбов: ТГТУ, 2017. 252 с.
- [2] Временные нормы и правила проектирования многофункциональных высотных зданий и зданий комплексов в городе Москве МГСН 4.19–2005. Москва, 2005. 129 с. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200042296>
- [3] ГОСТ Р 53778–2010. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200078357> (дата обращения 18.12.2018).
- [4] Айме К.А. Мониторинг зданий и котлованов. Ч. 2 // Строительные материалы, оборудование, технологии века, 2005. № 11. С. 37–39.
- [5] Рубцов И.В., Неугодинов А.П., Егоров Ф.А., Поспелов В.И. Организация системы мониторинга фасадных конструкций на базе волоконно-оптических датчиков // Технологии строительства, 2004. № 5 (33). С. 12–13.
- [6] Гармаш В.Б., Егоров Ф.А., Коломиец Л.Н., Неугодинов А.П., Поспелов В.И. Возможности, задачи и перспективы волоконно-оптических измерительных систем в современном приборостроении // Спецвыпуск «Фотон-экспересс-наука», 2005. № 6. С. 128–140.
- [7] Серегин Н.Г., Гиясов Б.И. Измерительные системы диагностики мониторинга технического состояния уникальных зданий и сооружений // Строительство: наука и образование, 2017. Т. 7. Вып. 3 (24). С. 19–35.
- [8] Запруднов В.И., Серегин Н.Г., Гречаная Н.Н. Информационно-измерительные системы мониторинга технического состояния строительных конструкций // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 5. С. 86–93. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-5-86-93.
- [9] Чернов Ю.Т. Вибрации строительных конструкций. М.: Издательство АСВ, 2006. 288 с.
- [10] Парахуда Р.Н., Шевцов В.И. Автоматизация измерений и контроля. СПб.: СЗТУ, 2002. 75 с.
- [11] Abdelrazaq A. Design and Construction planning of the BurjKhalifa // Proc of ASCE Structures Congress 2010 UAE, Dubai, Orlando, FL, May 12–14. DOI: 10.1061/41130(369)270
- [12] Brownjohn J.M., Pan T.C., Deng X.Y. Correlating dynamic characteristics from field measurements and numerical analysis of a high rise building // Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 2000, no. 29 (4), pp. 523–543.
- [13] Солдатов В.Ю., Бурков В.Д. Волоконно-оптические информационно-измерительные системы // Экологическая экспертиза, 2018. № 1. С. 111–120.
- [14] Солдатов В.Ю., Бурков В.Д. Информационно-измерительные системы волоконно-оптического типа // Экологические системы и приборы, 2017. № 6. С. 24–31.
- [15] Бростилова Т.Ю., Бростилов С.А., Мурашкина Т.И. Волоконно-оптический датчик деформации // Надежность и качество сложных систем, 2013. № 1. С. 93–98.
- [16] Потапов В.Т., Жамалетдинов М.Н., Жамалетдинов Н.М., Мамедов А.М., Потапов Т.В. Волоконно-оптическое устройство для измерения абсолютных расстояний и перемещений с нанометрическим разрешением // Приборы и техника эксперимента, 2013. № 5. С. 103–107.
- [17] Серегин Н.Г., Беляков В.А., Сорокин С.В., Яковлев А.В. Применение волоконно-оптического датчика для контроля, поверки и тарировки датчиков температуры // Инженерный вестник, 2014. № 6. С. 526–533.
- [18] Шишкин В.В., Гранев И.В., Шелемба И.С. Отечественный опыт производства и применения волоконно-оптических датчиков // Прикладная фотоника, 2016. Т. 3. № 1. С. 61–75.
- [19] Шашурин В.Д., Потапов В.Т., Серегин Н.Г., Сорокин С.В., Ветрова Н.А. Технология изготовления и результаты испытаний чувствительных элементов волоконно-оптических датчиков // Машиностроитель, 2016. № 5. С. 34–41.
- [20] Шашурин В.Д., Потапов В.Т., Серегин Н.Г., Сорокин С.В., Ветрова Н.А., Колесников Л.А., Назаров В.В. Применение метода волоконно-оптической низкокогерентной интерферометрии для контроля деформаций крепежных элементов строительных конструкций в процессе их эксплуатации // Машиностроитель, 2016. № 8. С. 13–19.

- [21] Исаев В.Г., Серегин Н.Г., Гречаная Н.Н. Измерение деформаций конструктивных элементов технических систем летательных аппаратов волоконно-оптическими устройствами // Информационно-технологический вестник, 2018. № 2 (16). С. 14–24.
- [22] Серегин Н.Г., Гиясов Б.И. Результаты исследования волоконно-оптического преобразователя системы мониторинга строительных конструкций // Вестник МГСУ, 2018. Т. 13. № 9 (120). С. 1055–1066.

Сведения об авторах

Запруднов Вячеслав Ильич — д-р техн. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), zaprudnov@mgul.ac.ru

Серегин Николай Григорьевич — канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), seregin54@yandex.ru

Поступила в редакцию 29.03.2019.

Принята к публикации 18.06.2019.

METHODS AND MEANS OF MONITORING BUILDING STRUCTURES TECHNICAL CONDITION

V.I. Zaprudnov¹, N.G. Seregin²

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

²Moscow State Building University (NIU MGSU), 26, Yaroslavl highway, 129337, Moscow, Russia

zaprudnov@mgul.ac.ru

The methods and means of monitoring the technical condition of building structures are Considered. Classification of methods is given. Their comparative analysis is carried out. A detailed classification of monitoring tools is given. Their advantages and disadvantages are analyzed. It is shown that the main means of monitoring the technical condition of building structures are tensometric and fiber-optic converters. A detailed description of strain gauges is presented. The prospects of application of fiber-optic converters for monitoring of building structures are substantiated. The analysis of works on the use of fiber-optic converters for measuring deformations of building structures is given. The method of fiber-optic low-coherence interferometry is considered. The advantages of the fiber-optic low-coherence interferometry method are analyzed. Its advantages for measurement of deformations of building structures are shown. The scheme and a sample of a fastening element for measuring deformations of building structures are presented. The test results of the fastening element sample are presented. Conclusions on the topic of the article are given and directions of further research are formulated.

Keywords: deformation of building structures, geodetic methods of monitoring of building structures, dynamic methods of monitoring of building structures, strain gauges, acoustic piezoelectric transducers, molecular electronic transducers, fiber optic transducers

Suggested citation: Zaprudnov V.I., Seregin N.G. *Metody i sredstva monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya stroitel'nykh konstruksiy* [Methods and means of monitoring building structures technical condition]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2019, vol. 23, no. 5, pp. 108–115. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-5-108-115

References

- [1] Ledenev V.V., Yartsev V.P. *Obsledovanie i monitoring stroitel'nykh konstruksiy zdaniy i sooruzheniy* [Examination and monitoring of building structures of buildings and structures: a training manual]. Tambov: TSTU, 2017. 252 p.
- [2] *Vremennye normy i pravila proektirovaniya mnogofunktsional'nykh vysotnykh zdaniy i zdaniy kompleksov v gorode Moskve MGSN 4.19–2005* [Temporary norms and rules for designing multifunctional high-rise buildings and complexes in Moscow MGSN 4.19–2005]. Moscow, 2005, 129 p. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200042296>
- [3] *GOST R 53778–2010. Zdaniya i sooruzheniya. Pravila obsledovaniya i monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya* [GOST R 53778–2010. Buildings and constructions. Rules of inspection and monitoring of technical condition]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200078357> (accessed 18.12.2018).
- [4] Ayme K.A. *Monitoring zdaniy i kotlovanov. Ch. 2.* [Monitoring of buildings and pits. Part 2.] *Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii veka* [Building materials, equipment, technologies of the century], 2005, no. 11, pp. 37–39.
- [5] Rubtsov I.V., Neugodnikov A.P., Egorov F.A., Pospelov V.I. *Organizatsiya sistemy monitoringa fasadnykh konstruksiy na baze volokonno-opticheskikh datchikov* [Organization of a monitoring system for facade structures based on fiber-optic sensors] *Tekhnologii stroitel'stva* [Building Technologies], 2004, no. 5 (33), pp. 12–13.
- [6] Garmash V.B., Egorov F.A., Kolomiets L.N., Neugodnikov A.P., Pospelov V.I. *Vozmozhnosti, zadachi i perspektivy volokonno-opticheskikh izmeritel'nykh sistem v sovremenном priborostroenii* [Opportunities, tasks and prospects of fiber-optic measuring systems in modern instrument-making] *Spetsvyпуск «Foton-eksperess-nauka»* [Special edition «Foton-experiment-science»], 2005, no. 6, pp. 128–140.

- [7] Seregin N.G., Giyasov B.I. *Izmeritel'nye sistemy diagnostiki monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya unikal'nykh zdaniy i sooruzheniy* [Measuring systems for diagnosing the monitoring of the technical condition of unique buildings and structures] Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie [Construction: Science and Education], 2017, v. 7, no. 3 (24), pp. 19–35.
- [8] Zaprudnov V.I., Seregin N.G., Grechanaya N.N. *Informatsionno-izmeritel'nye sistemy monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya stroitel'nykh konstruksiy* [Information-measuring systems for monitoring the technical condition of building structures] Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin, 2018, vol. 22, no. 5, pp. 86–93. DOI: 10.18698 / 2542-1468-2018-5-86-93.
- [9] Chernov Yu.T. *Vibratsii stroitel'nykh konstruksiy* [Vibrations of building structures]. Moscow: Izdatel'stvo ASV [Publishing House DIA], 2006, 288 p.
- [10] Parakhuda R.N., Shevtsov V.I. *Avtomatizatsiya izmereniy i kontrolya* [Automation of measurement and control]. St. Petersburg: SZTU, 2002, 75 p.
- [11] Abdelrazaq A. Design and Construction planning of the BurjKhalifa. Proc of ASCE Structures Congress 2010 UAE, Dubai, Orlando, Fl, May 12–14. DOI: 10.1061/41130(369)270
- [12] Brownjohn J.M., Pan T.C., Deng X.Y. Correlating dynamic characteristics from field measurements and numerical analysis of a high rise building. Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 2000, no. 29 (4), pp. 523–543.
- [13] Soldatov V.Yu., Burkov V.D. *Volokonno-opticheskikie informatsionno-izmeritel'nye sistemy* [Fiber-optical information-measuring systems] Ekologicheskaya ekspertiza [Ecological Expertise], 2018, no. 1, pp. 111–120.
- [14] Soldatov V.Yu., Burkov V.D. *Informatsionno- izmeritel'nye sistemy volokonno-opticheskogo tipa* [Information-measuring systems of fiber-optic type] Ekologicheskie sistemy i pribory [Ecological Systems and Devices], 2017, no. 6, pp. 24–31.
- [15] Brostilova T.Yu., Brostilov S.A., Murashkina T.I. *Volokonno-opticheskyy datchik deformatsii* [Fiber-optic strain sensor] Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh sistem [Reliability and quality of complex systems], 2013, no. 1, pp. 93–98.
- [16] Potapov V.T., Zhamaletdinov M.N., Zhamaletdinov N.M., Mamedov A.M., Potapov T.V. *Volokonno-opticheskoe ustroystvo dlya izmereniya absol'yutnykh rasstoyaniy i peremeshcheniy s nanometricheskim razresheniem* [Fiber-optical device for measuring absolute distances and displacements with a nanometric resolution] Pribory i tekhnika eksperimenta [Instruments and Experimental Technique], 2013, no. 5, pp. 103–107.
- [17] Seregin N.G., Belyakov V.A., Sorokin S.V., Yakovlev A.V. *Primenenie volokonno-opticheskogo datchika dlya kontrolya, poverki i tarirovki datchikov temperatury* [Application of a fiber-optic sensor for monitoring, calibration and calibration of temperature sensors] Inzhenernyy vestnik [Inzhenerny Vestnik], 2014, no. 6, pp. 526–533.
- [18] Shishkin V.V., Granev I.V., Shelemba I.S. *Otechestvennyy opyt proizvodstva i primeneniya volokonno-opticheskikh datchikov* [Domestic experience in the production and use of fiber-optic sensors] Prikladnaya fotonika [Applied Photonics], 2016, vol. 3, no. 1, pp. 61–75.
- [19] Shashurin V.D., Potapov V.T., Seregin N.G., Sorokin S.V., Vetrova N.A. *Tekhnologiya izgotovleniya i rezul'taty ispytaniy chuvstvitel'nykh elementov volokonno-opticheskikh datchikov* [Manufacturing technology and test results of sensitive elements of fiber-optic sensors] Mashinostroitel', 2016, no. 5, pp. 34–41.
- [20] Shashurin V.D., Potapov V.T., Seregin N.G., Sorokin S.V., Vetrova N.A., Kolesnikov L.A., Nazarov V.V. *Primenenie metoda volokonno-opticheskoy nizkokogerentnoy interferometrii dlya kontrolya deformatsiy krepzhenykh elementov stroitel'nykh konstruksiy v protsesse ikh ekspluatatsii* [Application of the method of fiber-optic low-coherence interferometry to control the deformations of fasteners of building structures during their operation] Mashinostroitel', 2016, no. 8, pp. 13–19.
- [21] Isaev V.G., Seregin N.G., Grechanaya N.N. *Izmerenie deformatsiy konstruktivnykh elementov tekhnicheskikh sistem letatel'nykh apparatov volokonno-opticheskimi ustroystvami* [Measurement of deformations of structural elements of technical systems of aircraft by fiber-optic devices] Informatsionno-tekhnologicheskyy vestnik [Information and Technology Bulletin], 2018, no. 2 (16), pp. 14–24.
- [22] Seregin N.G., Giyasov B.I. *Rezul'taty issledovaniya volokonno-opticheskogo preobrazovatelya sistemy monitoringa stroitel'nykh konstruksiy* [The results of the study of the fiber-optic converter of the monitoring system of building structures]. Vestnik MGSU, 2018, t. 13, no. 9 (120), pp. 1055–1066.

Authors' information

Zaprudnov Vyacheslav Il'ich — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), zaprudnov@mgul.ac.ru

Seregin Nikolay Grigorievich — Cand. Sci. (Tech.), Associated Professor of the Moscow State Building University (NIU MGSU), seregin54@yandex.ru

Received 29.03.2019.

Accepted for publication 18.06.2019.

УДК 661.728.7

DOI: 10.18698/2542-1468-2019-5-116-125

ЦЕЛЛЮЛОЗА И НАНОЦЕЛЛЮЛОЗА. ОБЗОР

А.Н. Зарубина, А.Н. Иванкин, А.С. Кулезнев, В.А. Кочетков

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

Обсуждены проблемы получения и применения наноцеллюлозы и композиционных материалов на ее основе. Приведена оценка возможностей получения наноцеллюлозы из лигноцеллюлозной биомассы, обсуждены типичные методы экстракции и представлены оптимальные условия, позволяющие получать наночастицы целлюлозы древесного происхождения. Показано, что физико-химические характеристики материалов, содержащие наночастицы, биодоступность веществ, напрямую связаны не только с дисперсностью включений, но и с характером получаемых фрагментов целлюлозы. Обсуждены отличия в химических свойствах целлюлозных компонентов, используемых в виде макро или наночастиц, и показана их зависимость от молекулярного строения фрагментов. Обобщены основные направления возможного применения наноцеллюлозы и показана перспективность разработки технологических процессов получения и применения нового класса новейших биотехнических композиционных материалов с включенными природными наноконпонентами.

Ключевые слова: древесная целлюлоза, наноцеллюлоза, природные биополимеры, получение, свойства, применение

Ссылка для цитирования: Зарубина А.Н., Иванкин А.Н., Кулезнев А.С., Кочетков В.А. Целлюлоза и наноцеллюлоза. Обзор // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2019. Т. 23. № 5. С. 116–125.
DOI: 10.18698/2542-1468-2019-5-116-125

Создание новейших наноконпозиционных материалов сегодня является магистральным направлением развития науки и техники. Известно, что при переходе от объектов традиционных линейных размеров к наноразмерным физико-химические свойства веществ изменяются кардинально. Например, температура плавления золота составляет 1337 К, в то время как частицы диаметром 50...100 нм плавятся при температуре почти в 3 раза меньше. Проявление токсичности наночастиц может быть на несколько порядков выше, чем для аналогичных объектов микро- и более высокого уровня. Импрегнирование (армирование) полимеров наполнителем, в качестве которого применяются наночастицы, например, введение 10 % нанокремнекислотных трубок в полиэтилен, приводит к упрочнению материала, изменению его жесткости, температур плавления и перехода из кристаллической структуры в аморфную, а также к изменению температурного интервала перехода в высокоэластичное состояние [1–4].

Биодоступность многих химических соединений в составе лекарственных биоконпозитов значительно повышается совместно с одновременным усилением терапевтического эффекта, например в случае применения химически модифицированных наночастиц благородных металлов, покрытых биологически активными веществами [5, 6].

На наноразмерном уровне наблюдается эффект — самосборка химических молекул в «ансамбли» определенного поверхностного строения. Это хорошо прослеживается на примере

крупных биологических молекул типа белков, ДНК и полисахаридов, имеющих целлюлозную структуру, что, по-видимому, является основой всех биохимических реакций, протекающих в живых системах. Данный механизм, можно использовать для получения биоконпозиционных материалов. В будущем эта быстро развивающаяся область бионики, реализующая способы применения в технических устройствах принципов организации, свойств, функций и структур живой природы, вероятно, может служить базой для создания биоконпозитов с уникальными свойствами [7]. В настоящее время отмечается четкое понимание форм и функций целлюлозных молекулярных архитектур в биологических системах, что способствует эволюции технологических подходов к созданию современных материалов.

Все вышеизложенное должно в полной мере относиться ко всем природным биополимерам, и в первую очередь к важнейшему из них — целлюлозе. Целлюлоза — самый распространенный полимер в природе, по количеству намного превосходящий промышленный выпуск синтетических полимеров [8–10]. Если для получения синтетических полимеров требуются сложные технологии полимеризации мономеров, являющихся основой современного промышленного производства пластмасс, то источником получения целлюлозы выступают растения, внутренняя структура которых в значительной степени построена из целлюлозы и сформирована в результате естественного роста растений [4, 10].

Цель работы

Задача данного обзора — дать оценку возможностям получения наноцеллюлозы из лигноцеллюлозной биомассы, рассмотреть типичные методы экстракции и обобщить основные направления возможного применения наноцеллюлозы

Материалы и методы

Свойства целлюлозы. Целлюлоза, как основной компонент клеточной стенки высших биологических объектов составляет примерно половину массы многолетних и третью часть массы однолетних растений, присутствует в качестве основного материала клеточной стенки во всех овощах и фруктах, потребляемых человеком, а также содержится в древесине лиственных и хвойных пород деревьев [4, 5]. Это — высокомолекулярный, линейный, нерастворимый гомополимер с β -d-глюкопиранозильными звеньями, соединенными (1→4) гликозидными связями (рис. 1).

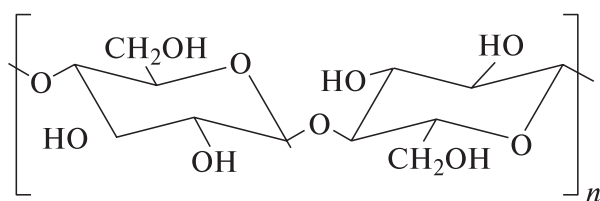


Рис. 1. Химическая структура целлюлозы
Fig. 1. The chemical structure of cellulose

Структура целлюлозы образуется из повторяющихся целлобиозных единиц. Каждая следующая единица инвертирована по сравнению с предыдущими единицами, придавая молекуле плоскую лентообразную конформацию. Вследствие линейности и стереорегулярности в природе молекулы целлюлозы связываются в протяженные пространственные макрокомплексы, образуя поликристаллические волокнистые пучки, в которых молекулярные цепи кристаллических областей удерживаются вместе многочисленными водородными связями. Сетка водородных связей образует в микрофибриллах аморфные и кристаллические области [10–12].

Целлюлоза нерастворима. Известны только несколько специальных растворителей, которые могут разрушить ее межмолекулярные водородные связи, что важно для возможного получения наноструктурированной целлюлозы. Так, в 17%-м гидроксиде натрия, природная целлюлоза набухает. Растворимость целлюлозы в щелочах зависит от степени ее полимеризации — с уменьшением степени полимеризации растворимость повышается. Максимальная растворимость хлопковой целлюлозы при обычной температуре наблюдается в щелочах 12%-й концентрации, древесной целлюлозы — \approx 10%-й [4, 11].

В зависимости от молекулярной массы целлюлоза, растворяется в водных смесях комплексных соединений гидроксидов переходных металлов (Cu, Cd, Ni) с аммиаком и аминами, например в медно-аммиачном реактиве Швейцера — $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4](\text{OH})_2$. Это используется более 100 лет при производстве одного из видов искусственного медно-аммиачного волокна. Целлюлоза медленно растворяется в некоторых комплексных основаниях, например в растворе гидроксида меди в этилендиамина (en) — купроэтилендиамина $[\text{Cu}(\text{NH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2)_2](\text{OH})_2$, обозначаемом сокращенно Cuен, или $[\text{Cu}(\text{en})_2](\text{OH})_2$, а также в цинкоксене (гидроксида цинкэтилендиамина) $[\text{Zn}(\text{en})_3](\text{OH})_2$, кадоксене $[\text{Cd}(\text{en})_3](\text{OH})_2$, ниоксене $[\text{Ni}(\text{en})_3](\text{OH})_2$, ниоксаме $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6](\text{OH})_2$, кооксене $[\text{Co}(\text{en})_3](\text{OH})_2$ и щелочном растворе железовиннонатриевого комплекса (ЖВНК) $[(\text{C}_4\text{H}_3\text{O}_6)_3\text{Fe}]\text{Na}_6$. Целлюлоза может постепенно набухать и растворяться в горячих концентрированных растворах: AlCl_3 , SnCl_4 , KI , BaI_2 , $\text{Ca}(\text{CNS})_2$ и ZnCl_2 , в насыщенном при комнатной температуре растворе $\text{Ca}(\text{CNS})_2$ при 120–130 °C [7–9]. В кислотах на холоде, например в концентрированной серной кислоте, целлюлоза образует вязкий раствор. Аналогичная реакция происходит при помещении целлюлозы в концентрированный раствор ортофосфорной кислоты при температуре выше 60 °C. При длительном воздействии сильные минеральные кислоты гидролизуют целлюлозу до мономерной глюкозы [4, 13, 14].

Некоторые производные целлюлозы с малой молекулярной массой обладают способностью сильно набухать со степенью набухания до 1000 % и более и в итоге полной растворимостью в водных растворах, что особенно важно в случае получения пищевых гидроколлоидов, а также реологических загустителей и клеящих систем [15–19].

В 2010–2019 гг. наблюдается значительный интерес к производству биокomпозиционных материалов с наноразмерными наполнителями [20].

Применение целлюлозных кристаллитов в качестве наноразмерных добавок позволяет значительно усилить механические свойства полимерного композита и, кроме того, придавать ему свойства устойчивости к биоразложению. Это обуславливает высокая механическая прочность наноразмерных частиц. Считается, что прочность на разрыв в этом случае может составлять \sim 10 ГПа, модуль упругости \sim 150 ГПа — значения, сопоставимые с прочностью углеродных нанотрубок, что дает возможность получать сверхпрочные и сверхлегкие материалы. Причем сырьевые ресурсы для получения нанокристаллической целлюлозы (НКЦ) практически неограничены [21].

Традиционно целлюлозу используют для приготовления пленок, получения композиционных пластических масс и искусственного волокна, бездымного пороха и материалов текстильной и бумажной промышленности [22–24].

Целлюлозу, как биополимер, получают в основном из растений, хотя ее можно выделить, например, из некоторых видов бактерий и плесени [4, 25, 26].

Одним из наиболее распространенных методов получения и использования целлюлозы является технологический процесс изготовления бумаги, в котором по основному промышленному способу, древесина практически любых пород (сосна, ель, береза, тополь, каштан, эвкалипт и др.) подвергается варке в щелочном растворе, содержащем до 50 г/л смеси гидроксида и сульфида натрия при температуре 150–170 °С в течение 1...6 ч, что позволяет получить из 1 кг древесной массы до 50 листов (0,25 кг) бумаги формата А4. Выход целлюлозы из древесины различных пород составляет 35–50 % [4, 27].

Известно, что процессы получения целлюлозы из природного сырья сводятся к разрушению естественных структур растительного происхождения под воздействием преимущественно кислот или щелочей. При этом происходит тотальное и неравномерное разрушение этих структур с образованием целлюлозы различной молекулярной массы. Тонкое регулирование этих процессов позволяет получать ее дисперсные формы, в том числе с образованием наноразмерных фрагментов [28, 29].

Нано- и микроцеллюлоза. Выделяют три основных вида наноцеллюлозы: нанокристаллическая; нанофибриллированная; бактериальная. Все эти типы идентичны по химическому составу, однако отличаются по морфологии, размеру частиц и кристалличности. Отдельные свойства могут различаться из-за разницы в источниках и методах извлечения [30, 31].

Нанокристаллическая целлюлоза, также известная как нанокристаллы целлюлозы, или целлюлозные нановискеры, представляет собой наноцеллюлозу с высокой прочностью, которая обычно извлекается из целлюлозных фибрилл кислотным гидролизом. Она имеет форму короткого стержня или форму вискера (нитевидного кристалла) диаметром 2...20 нм и длиной 100...500 нм. Это — 100%-й химический состав целлюлозы, характерный в основном для кристаллических областей с высокой кристалличностью, составляющей 54...88 % [30].

Давно известен метод выделения нанокристаллов целлюлозы из микрофибрилл с помощью обработки целлюлозного материала кислотой [4, 29]. Обработка кислотой вызывает селективный гидролиз аморфных областей целлюлозы с высво-

бождением нанокристаллических стержнеобразных частиц [30, 31]. В зависимости от условий кислотной обработки и сырьевого источника целлюлозы, размер частиц получаемой целлюлозы составляет от 50 до 1160 нм в длину и 3...50 нм в диаметре [32]. При использовании серной кислоты в результате гидролиза поверхностные гидроксильные группы превращаются в сульфогруппы с отрицательными зарядами по поверхности макромолекулы целлюлозы, что стабилизирует водные дисперсии таких частиц целлюлозы за счет электростатического отталкивания [33].

Рассмотрим схему формирования наноцеллюлозы под воздействием кислот (рис. 2). Использование достаточно концентрированной серной кислоты приводит к разрушению аморфных областей целлюлозы с высвобождением кристаллитов наноцеллюлозы.

Бактериальная наноцеллюлоза отличается от нанокристаллической и нанофибриллированной целлюлозы, извлекаемых из лигноцеллюлозной биомассы, но бактериальную наноцеллюлозу получают из вырабатываемых бактериями низкомолекулярных полисахаридов в процессе достаточно длительной — до двух недель — ферментации в основном *Glucanacetobacter xylinus*. Наноцеллюлоза извлекается впоследствии из биомассы путем экстрагирования органическими растворителями (рис. 3).

В целом интерес к наноразмерной целлюлозе существенно возрос в результате установления возможности достижения ею комплекса уникальных свойств, что повлекло за собой разработку большого количества методов и способов получения наноцеллюлозы и других наноматериалов [22, 31, 34].

В последнее время особенно активно разрабатываются методы получения наноцеллюлозных материалов с использованием механического воздействия различных сред. К ним относятся кавитационно-гидродинамический, вибрационные способы, способ ударной волны, измельчение ультразвуком, детонационный синтез (рис. 4). Возможно получение суспензий нанопорошков в различных дисперсных средах методом кавитационно-гидродинамического воздействия. Кавитационные эффекты, вызванные образованием и разрушением газовых микропузырьков в течение 3...10 с при действии давления в 100...1000 МПа приводят к разогреву диспергируемого материала и его деградациии в ходе процесса. Ударное воздействие, микровакуумирование и локально повышенная температура вызывают измельчение твердого материала. Разрушающее действие кавитационных волн используется также в аналогично используемом способе измельчания материалов ультразвуком [34–36].

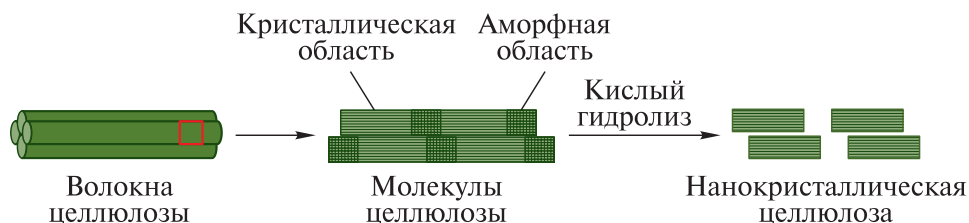


Рис. 2. Образование нанокристаллической целлюлозы в присутствии серной кислоты
Fig. 2. The formation of nanocrystalline cellulose in the presence of sulfuric acid

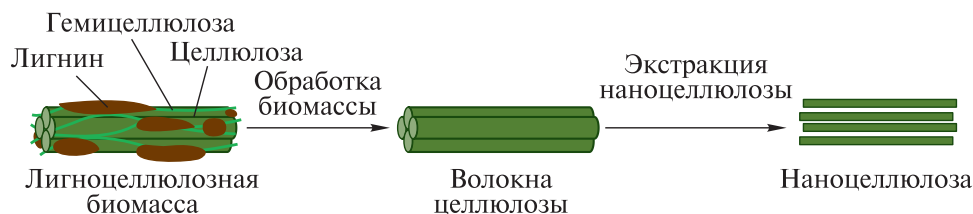


Рис. 3. Схема получения наноцеллюлозы из биомассы
Fig. 3. Scheme for the production of nanocellulose from biomass

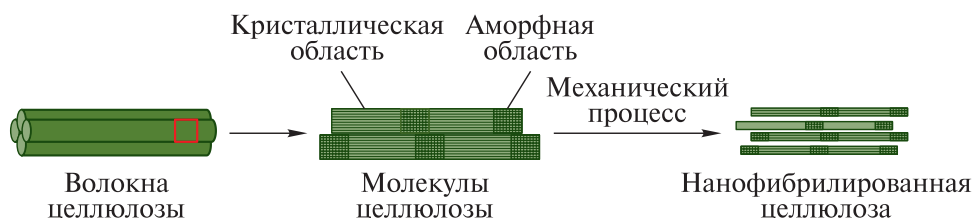


Рис. 4. Влияние механической обработки на процесс получения нанофибрилированной целлюлозы из древесного волокна
Fig. 4. The effect of machining on the process of obtaining nanofibrillated cellulose from wood fiber

Особый интерес могут представлять жидкие системы с неурегулированными структурами наноцеллюлозы. В 1959 г. Marchessault et al. опубликовали сообщение о том, что дисперсии НКЦ, полученные сернокислотным гидролизом, образуют лиотропные жидкокристаллические фазы. Была установлена характерная для самоорганизации водных дисперсий НКЦ хиральная нематическая (холестерическая) фазовая структура [37].

Считается, что фазовое разделение стержнеобразных полиэлектролитов, каковыми являются водные суспензии НКЦ, регулируются четырьмя основными параметрами: 1) размером частиц; 2) их полидисперсностью; 3) поверхностным зарядом; 4) ионной силой системы [20, 34]. Первые три параметра зависят от свойств частиц и, следовательно, от условий их получения. Если фазовое разделение проводится в чистой воде, ионная сила будет определяться также концентрацией и поверхностным зарядом стержнеобразных частиц. Для воспроизводимого фазового разделения необходим тщательный контроль над условиями получения частиц, особенно в чистых полиэлектролитных системах без добавок электролитов.

Нанокристаллиты природной целлюлозы древесного происхождения имеют более или менее фиксированный размер для данного сырьевого источника целлюлозы. Различное сырье дает нанокристаллиты различного размера даже в сопоставимых экспериментальных условиях. Тем не менее на свойства нанокристаллитов целлюлозы, полученных из древесины и других растений, будут влиять также степень кислотного гидролиза, тип применяемой кислоты и другие условия синтеза. Поскольку получение этих нанокристаллитов требует достаточно мягких условий гидролиза, размер образующихся частиц оказывается достаточно неоднородным [38, 39].

Хиральная нематическая структура может сохраняться в пленках НКЦ при испарении растворителя в процессе, известном как EISA (Evaporation Induced self-Assembly), т. е. самосборка, вызванная испарением [24, 26, 34]. Пленки НКЦ обладают хиральностью на различных уровнях: молекулярном — вследствие асимметричности атомов углерода D-глюкозидных фрагментов; наноуровне — вследствие скрученной морфологии отдельных кристаллов и левозакру-

ченности хирального нематического дальнего порядка лиотропной жидкокристаллической фазы [12]. НКЦ представляет значительный интерес в качестве строительных блоков для создания супрамолекулярных иерархических структур в связи с уникальным сочетанием свойств, и прежде всего большой площади поверхности, высокого модуля упругости и анизотропной формы частиц [13].

Недавно был раскрыт потенциал НКЦ как супрамолекулярного темплата в процессах самосборки в присутствии подходящих прекурсоров [14]. Уникальное сочетание хиральной нематической структуры, мезопористости и оптических свойств предопределило разработку широкого спектра функциональных материалов, полученных темплатным синтезом на основе НКЦ, что обусловило их применение в создании новых мезопористых сорбентов, фотонных кристаллов, суперконденсаторов, транзисторов, сенсоров и детекторов, микроэлектронных и электрооптических устройств [29–31].

Значительна роль целлюлозы в составе композиций пищевого назначения — продуктов питания человека и кормов сельскохозяйственных и непродуктивных животных. Целлюлоза и ее модифицированные формы в пищевых системах служат в качестве пищевого волокна, поскольку в желудочно-кишечном тракте никакие формы целлюлозы не перевариваются и, таким образом, ни одна из ее форм не может служить значительным источником энергии или углерода как для человека, так и для млекопитающих. Пищевые волокна, однако, выполняют важные физиологические функции [15, 16, 36].

Формы целлюлозы в биологически активных и пищевых системах. Источником целлюлозы пищевых систем, как микрообъекта, является древесная масса или короткие, до 15 мм длиной, волокна хлопкового линта. В хлопковых волокнах содержится не менее 93 % целлюлозы. Хлопчатобумажным подкладкам требуется только обработка горячим раствором гидроксида натрия для удаления небольших количеств белка, пектинов и восков в целях получения высококачественной целлюлозы. Измельченная древесная щепа, содержащая около 50 % целлюлозы, 30 % геми-целлюлозы и 20 % лигнина, подвергается процессу делигнификации для растворения и удаления двух последних компонентов. В этом случае для получения целлюлозы и ее последующей возможной дефрагментации до микро- и наночастиц древесное сырье вываривают, как указано выше, в щелочном растворе сульфида натрия (так называемый крафт, или сульфатный процесс) или бисульфите кальция в присутствии диоксида серы (бисульфитный процесс) либо только в гидроксиде натрия (содовый процесс).

Последний процесс является основным источником получения целлюлозы, используемой для производства водорастворимых производных пищевой промышленности. Продукт дополнительно очищают путем обработки щелочным раствором гипохлорита натрия для удаления остаточных количеств геми-целлюлозы и пигментов, а также следов лигнина [4, 27].

Очищенный таким образом порошок целлюлозы применяют в качестве пищевого ингредиента. Основным показателем качества целлюлозы обычно выступает содержание альфа-целлюлозы, нерастворимой в 20%-м водном растворе гидроксида натрия. Высокоочищенная целлюлоза с более чем 99%-м содержанием альфа-целлюлозы является химически чистым (1→4) β-глюканом. Этот показатель важен для производства высококачественных порошков, однако химическая чистота не столь существенна для пищевых систем, так как во всех фруктах, овощах, муке и других растительных продуктах клеточные стенки состоят из естественного целлюлозного материала. Целлюлоза пищевого назначения должна соответствовать требованиям Кодекса пищевых химических веществ [17, 19].

Исходные волокна целлюлозы могут изменяться по длине — от 500 до 4000 мкм и ширине — от 5 до 350 мкм. Молекулярная масса древесной целлюлозы, в зависимости от источника, характеризуется средним индексом полимеризации n на уровне 500...1500 [4, 27]. Размер частиц можно уменьшить, например, путем механического измельчения. После механической дезинтеграции и уменьшения размера частиц целлюлозы, получают продукты со средней длиной волокна в диапазоне 20...120 мкм. Считается, что для пищевых продуктов дисперсность компонентов менее 200 мкм не фиксируется органолептически, однако более глубокая диспергация целлюлозы позволяет получать реологически стабильные пищевые системы длительного хранения [40].

Крупные частицы целлюлозы обладают большей водо- и жиросвязывающей способностью и обеспечивают большую массу конечного продукта, что предопределяет экономический интерес производителей. В зависимости от длины волокна порошок целлюлозы может связывать воду со степенью гидратации, в несколько раз превышающей исходную массу. Меньшие размеры частиц дают продукты с более «тонкой» текстурой по сравнению с продуктом, изготовленным с крупными размерами частиц [41, 42].

В составе пищевых продуктов целлюлоза используется как в микрокристаллическом виде, так и в виде химических производных — метил-, оксиэтил-, гидроксипропил- и карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ). Порошковая целлюлоза расти-

тельного происхождения в составе пищевых продуктов практически не имеет ни вкуса, ни цвета, а также не подвергается интенсивному микробному разложению. Ее добавляют в хлеб для снижения калорийности. Хлебобулочные изделия с пониженной калорийностью, содержащие целлюлозу, характеризуются повышенным содержанием пищевых волокон и дольше сохраняют влагу. Порошковая целлюлоза уменьшает спекание тертых и измельченных сыров, способствует характерной текстуре соусов и увеличивает липкость и вязкость. Использование порошкообразной целлюлозы с частицами меньшего размера в глазурях и начинках для выпечки кондитерских изделий снижает их калорийность, минимально изменяя текстуру и консистенцию. Порошковая целлюлоза с размером частиц не менее 100 мкм увеличивает вязкость растворов, применяемых для загущения пищевых систем на основе каррагинанов, гуаровой камеди, натриевой соли КМЦ, альгинатов и ксантана, поскольку при взаимодействии этих природных гидроколлоидов с целлюлозой происходит образование гидрофильной разветвленной макромолекулярной сетки [18, 40, 43].

В составе пищевых продуктов, так же, как и в ряде косметических систем, микрокристаллическая целлюлоза может стабилизировать пену и эмульсии, заменять жиры и масла, формировать тиксотропные гели, улучшать адгезию компонентов и их прилипание, обеспечивает стабильность при замораживании/оттаивании. Загущению системы способствует КМЦ, а также замедляет рост кристаллов льда, образует пленки, связывает и удерживает воду, стабилизирует коллоиды, действует как вспомогательное средство или увлажнитель, замедляет кристаллизацию сахара, предотвращает синерезис, стабилизирует белки. Метилцеллюлозы и гидроксипропилметилцеллюлозы проявляют термическое гелеобразование, уменьшают количество требуемого жира, образуют пленки, образуют и стабилизируют эмульсии, пены, связывают и удерживают воду, обеспечивают стабильность при замораживании/оттаивании, адгезию и связывание, псевдопластическую реологию и смазывающую способность, являются неионогенными веществами, совместимыми с сахаром.

Микрофибриллированные и микроретикулированные целлюлозы в составе пищевых и косметических композиций, как правило, бактериального происхождения. Их получают, например, из *Acetobacter xylinum* [46]. Целлюлозовые гели входят в состав распространенных в ряде южных стран десертов и напитков [46, 47].

Позиционирование нано- и микроцеллюлозы как сырьевого продукта для последующего получения изделий различного назначения, по-видимому, предопределяет осуществление

нескольких основных технологических операций: извлечение целлюлозы из природного сырья, ее дефрагментация с уменьшением молекулярной массы и получением минимально возможных по размеру частиц [48]. Свойства очень малых частиц таковы, что при их получении в твердом виде происходит эффект агрегации вследствие действия электростатических сил. Например, распылительная сушка раствора, содержащего нанообразования целлюлозы размером 50 нм может приводить к образованию пористых и губчатых скоплений микрокристаллов со средним размером частиц в конечном продукте, полученном из разных видов сырья, с вариацией примерно от 20 до 90 мкм, что весьма затрудняет получение истинного товарного нанопродукта.

Выводы

Краткий обзор основных направлений получения и применения нано- и других форм целлюлозы показывает, что в настоящее время практически не известна оптимальная технология получения наноцеллюлозы, позволяющая производить ее значительные количества. Перспективная разработка способов и реальных технологических процессов позволит ввести в практику практического применения новый класс материалов, в первую очередь, для получения новейших биотехнических композиционных жидких и твердых составов.

Список литературы

- [1] Сергеев Г.Б. Нанохимия. М.: КДУ, 2007. 336 с.
- [2] Иванкин А.Н., Юшина Ю.К., Хвыля С.И., Горбунова Н.А., Евдокимов Ю.М., Вечеслава И.В. Микронаноинкапсулирование как метод включения биологически активных веществ в ингредиенты пищевого назначения // Сб. научных трудов ВНИИМП им В.М. Горбатова. М.: РАСХН, 2008. С. 61–68.
- [3] Иванова А.А., Новиков М.А., Титов Е.А., Поздняков А.С., Емельянов А.И., Ермакова Т.Г., Соседова Л.М., Прозорова Г.Ф. Исследование токсичности азотсодержащего полимера и нанокompозита с наночастицами серебра // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология, 2016. Т. 6. № 4. С. 28–33.
- [4] Роговин З.А. Химия целлюлозы. М.: Химия, 1972. 520 с.
- [5] Оленин А.Ю., Лисичкин Г.В. Получение и применение химически модифицированных наночастиц благородных металлов. Обзор // Журнал прикладной химии, 2018. Т. 91. Вып. 9. С. 1219–1240.
- [6] Оленин А. Ю. Химически модифицированные наночастицы золота и серебра в спектрометрическом анализе // Журнал аналитической химии, 2019. Т. 74. № 4. С. 254–278.
- [7] Арчаков А.И. Эволюция концепции белковой короны наночастиц // Биомедицинская химия, 2019. Т. 65. № 1. С. 5–8.
- [8] Bemiller J.N. Cellulose and cellulose-based hydrocolloids // Carbohydrate Chemistry for Food Scientists (Third Edition). Amsterdam: AACCI. Published by Elsevier Inc., 2019, pp. 223–240.

- [9] Рыбин Б.М., Завражнова И.А., Рыбин Д.Б. Определение физических показателей полимеров для деревообработки по аддитивным функциям групповых вкладов химических структурных звеньев // Лесной вестник / *Forestry Bulletin*, 2018. Т. 22. № 2. С. 68–75.
- [10] Кононов Г.Н. Дендрохимия. Химия, нанохимия и биогеохимия компонентов клеток, тканей и органов древесных растений. В 2 т. М.: МГУЛ, 2015. Т. I. 480 с.
- [11] Henschen J., Li D., Ek M. Preparation of cellulose nanomaterials via cellulose oxalates // *Carbohydrate Polymers*, 2019, v. 213, no. 6, pp. 208–216.
- [12] Amarala H.R., Cipriano D.F., Santosa M.S., Schettino M.A., Ferret J.V.T., Meireles C.S., Pereira V.S., Cunha A.G., Emmerich F.G., Freitas J.C.C. Production of high-purity cellulose, cellulose acetate and cellulose-silica composite from babassu coconut shells // *Carbohydrate Polymers*, 2019, v. 210, no. 4, pp. 127–134.
- [13] Grinshpan D.D., Gonchar A.N., Savitskaya T.A., Tsygankova N.G., Makarevich S.E. Rheological properties of cellulose-chitosan-phosphoric acid systems in different phase states // *Polymer Science A*, 2014, v. 56, no. 2, pp. 137–145.
- [14] Гриншпан Д.Д., Разумеев К.Э., Белоглазов А.П., Кудрявцева Т.Н. Производство текстильных изделий с использованием самозатухающих целлюлозно-хитозановых волокон // Швейная промышленность, 2016. № 1–2. С. 14–16.
- [15] Ivankin A.N., Kulikovskii A.V., Vostrikova N.L., Chernuha I.M. Cis and trans conformational changes of bacterial fatty acids in comparison with analogs of animal and vegetable origin // *Applied Biochemistry and Microbiology*, 2014, v. 50, no. 6, pp. 668–674.
- [16] Хвьяля С.И., Иванкин А.Н., Евдокимов Ю.М., Прошина О.П. Наномикроэмульсии как объекты инкапсулирования природных биологически активных веществ // *Практик*, 2009. № 3. С. 16–22.
- [17] Иванкин А.Н., Юшина Ю.К., Горбунова Н.А., Евдокимов Ю.М., Олиференко Г.Л. Наномикротехнологии включения активных ингредиентов в пищевые композиции // *Мясная индустрия*, 2010. № 1. С. 23–25.
- [18] Кузнецова Т.Г., Селиванова Е.Б., Богданова А.В., Иванкин А.Н. Наноидентификация нанообъектов в составе сырья и продуктов пищевого назначения // *Экологические системы и приборы*, 2012. № 2. С. 18–22.
- [19] Иванкин А.Н., Горбунова Н.А. Наномикротехнологии включения биологически активных ингредиентов в пищевые композиции на основе мясного сырья // Сб. Научно-практической конференции «Совершенствование технологий производства продуктов питания в свете государственной программы развития с/х на 2008–2012 гг.». Ч. 2. г. Волгоград, 18–19 июня 2008 г. М.: РАСХН, 2008. С. 60–64.
- [20] Ivankin A.N., Kulikovskii A.V., Vostrikova N.L., Chernucha I.M., Belaykov V.A., Lihanova L.M. Nano, micro transformations of thermo degraded products of wood and their influence on the safety of food // *J. «Scientific Israel – Technological Advantages»*, 2013, v.15, no. 2, pp. 56–62.
- [21] Петров В.А., Гибадуллин М.Р., Аверьянова Н.В., Мезиков В.К. Получение наноцеллюлозы и физико-механические характеристики пленок на ее основе // *Вестник Казанского технологического университета*, 2011. № 14. С. 181–185.
- [22] Прошина О.П., Олиференко Г.Л., Евдокимов Ю.М., Иванкин А.Н. Наноцеллюлоза и получение бумаги на ее основе // Тез. докл. Междунар. конф. «Нанотехнологии и наноматериалы в лесном комплексе». Москва 15–17 ноября 2011. М.: МГУЛ, 2011. С. 24–28.
- [23] Савицкая Т.А. Съедобные полимерные пленки и покрытия: история вопроса и современное состояние // *Полимерные материалы и технологии*, 2016. Т. 2. № 2. С. 6–36.
- [24] Yu Z., Rao G., Yan X., Huo P., Wang Ch., Savitskaya T., Hrynshpan D. Preparation and properties of pea starch – poly lysine composite films // *Science and Technology of Food Industry Journal*, 2018, v. 39, no 13, pp. 89–94.
- [25] Brown R.M., Saxena I.M. Cellulose biosynthesis: A model for understanding the assembly of biopolymers // *Plant Physiol. Biochem.*, 2000, v. 38, no. 1–2, pp. 57–67.
- [26] Воронова М.И., Сузов О.В., Рублева Н.В., Кочкина Н.Е., Прусова С. М., Гисматулина Ю.А., Будаева В.В., Захаров А.Г. Свойства нанокристаллической целлюлозы, полученной из целлюлоз однолетних растений // *Жидкие кристаллы и их практическое использование*, 2017. Т. 17. № 4. С. 97–105.
- [27] Флягэ Д.М. Технология бумаги. М.: Лесн. пром-ть, 1988. 440 с.
- [28] Ranby B.G. Fibrous macromolecular systems. Cellulose and muscle. The colloidal properties of cellulose micelles // *Discuss. Faraday Soc.*, 1951, v. 11, pp. 158–164.
- [29] Bondeson D., Mathew A., Oksman K. Optimization of the isolation of nanocrystals from microcrystalline cellulose by acid hydrolysis // *Cellulose*, 2006, v. 13, no. 4, pp. 171–180.
- [30] Moon R.J., Martini A., Nairn J., Simonsen J., Youngblood J. Cellulose nanomaterials review: structure, properties and nanocomposites // *Chemical Society Reviews*, 2011, v. 40, pp. 3941–3994.
- [31] Lavoine N., Desloges I., Dufresne A., Bras J. Microfibrillated cellulose – its barrier properties and applications in cellulosic materials: a review // *Carbohydrate Polymers*, 2012, v. 90, no. 3, pp. 735–764.
- [32] Espinosa S.C., Kuhnt T., Foster E.J., Weder C. Isolation of thermally stable cellulose nanocrystals by phosphoric acid hydrolysis // *Biomacromolecules*, 2013, v. 14, no 4, pp. 1223–1230.
- [33] Revol J.F., Bradford H., Giasson J., Marchessault R.H., Gray D.G. Helicoidal self-ordering of cellulose microfibrils in aqueous suspension // *International Journal of Biological Macromolecules*, 1992, v. 14, no. 3, pp. 170–172.
- [34] Рыжонков Д.И., Левина В.В., Дзидзигури Э.Л. Наноматериалы. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. 365 с.
- [35] Обливин А.Н., Лопатников М.В., Брынцев В.А., Голубев И.Г., Коровин В.В., Погиба С.П., Уголев Б.Н., Евдокимов Ю.М., Азаров В.В., Кононов Г.Н., Иванкин А.Н., Быков В.В., Голубев М.И., Харченко В.Н., Полужков Н.П., Царьгородцев Ю.П., Усатов И.И. Нанотехнологии и наноматериалы в лесном комплексе. М.: МГУЛ, 2011. 220 с.
- [36] Nekliudov A.D., Ivankin A.N. Biochemical processing of fats and oils into new lipid products with improved biological and physico-chemical properties // *Applied Biochemistry and Microbiology*, 2002, v. 38, no. 5, pp. 469–481.
- [37] Marchessault R.H., Morehead F.F., Walter N.M. Liquid crystal systems from fibrillar polysaccharides // *Nature*, 1959, v. 184, pp. 632–633.
- [38] Иванкин А.Н., Прошина О.П. Поверхностные явления и дисперсные системы. М.: МГУЛ, 2007. 36 с.
- [39] Иванкин А.Н., Санаев В.Г., Горбачева Г.А., Агеев А.К., Кирюхин Д.П., Кичигина Г.А., Куш П.П. Модификация свойств природных целлюлозосодержащих композиционных материалов фторсополимерами и теломерами тетрафторэтилена // *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*, 2018. № 2 (362). С. 122–132.
- [40] Неклюдов А.Д., Иванкин А.Н. Биологически активные соединения из природных объектов. Свойства и структурно-функциональное взаимодействие. М.: МГУЛ, 2003. 480 с.

- [41] Noorbakhsh-Soltani S.M., Zerafat M.M., Sabbaghi S. A comparative study of gelatin and starch-based nano-composite films modified by nano-cellulose and chitosa for food packaging applications // *Carbohydrate Polymers*, 2018, v. 189, no. 6, pp. 48–55.
- [42] Zavareze E.R., Kringel D.H., Dias A.R.G. Nano-scale polysaccharide materials in food and agricultural applications // *Advances in Food and Nutrition Research*, 2019, v. 51, no. 3, pp. 5–10.
- [43] Cherian J., Paulose J., Vysakh P. Harnessing nature's hidden material: Nano-Cellulose // *Materials Today; Proceedings*, 2018, v. 5, no. 5, part 2, pp. 12609–12614.
- [44] Liu L., Kerr W.L., Kong F., Dee D.R., Lin M. Influence of nano-fibrillated cellulose (NFC) on starch digestion and glucose absorption // *Carbohydrate Polymers*, 2018, v. 196, no. 9, pp. 146–153.
- [45] Pae N., Liew W.C., Muhamad I.I. Production of cellulose nano-crystals from bacterial fermentation // *Materials Today: Proceedings*, 2019, v. 7, part 2, pp. 754–762.
- [46] Phanthong P., Reubroycharoen P., Hao X., Xu G., Abudula A., Guan G. Nanocellulose: Extraction and application // *Carbon Resources Conversion*, 2018, v. 1, no. 1, pp. 32–43.
- [47] Коваленко В. И. Кристаллическая целлюлоза: структура и водородные связи // *Успехи химии*, 2010. Т. 79. № 3. С. 261–272.
- [48] Araki J., Wada M., Kuga S., Okano T. Flow properties of microcrystalline cellulose suspension prepared by acid treatment of native cellulose // *Colloids and Surf. A*, 1998, v. 142, no. 1, pp. 75–82.

Сведения об авторах

Зарубина Анжелла Николаевна — канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой химии и химических технологий лесного комплекса МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), zarubina@mgul.ac.ru

Иванкин Андрей Николаевич — д-р хим. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), aivankin@mgul.ac.ru

Кулезнев Алексей Сергеевич — студент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), kuleznev00@mail.ru

Кочетков Вячеслав Андреевич — студент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), slava-kochetkov28@mail.ru

Поступила в редакцию 19.04.2019.

Принята к публикации 19.06.2019.

CELLULOSE AND NANO CELLULOSE. REVIEW

A.N. Zarubina, A.N. Ivankin, A.S. Kuleznev, V.A. Kochetkov

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

aivankin@mgul.ac.ru

The issues of obtaining and using nanocellulose and composite materials based on it are discussed. The possibilities of producing nanocellulose from lignocellulosic biomass are given, typical extraction methods are discussed, and optimal conditions are presented that make it possible to obtain cellulose nanoparticles of wood origin. It was shown that the physicochemical characteristics of materials containing nanoparticles, the bioavailability of substances, are directly related not only to the dispersion of inclusions, but also to the nature of the resulting cellulose fragments. The differences in the chemical properties of the cellulose components used in the form of macro or nanoparticles are discussed, and their dependence on the molecular structure of the fragments is shown. The main directions of nanocellulose usage are generalized and the prospects of developing technological processes for producing and using a new class of the latest biotechnological composite materials with natural nanocomponents included are shown.

Keywords: wood pulp, nanocellulose, natural biopolymers, preparation, properties, application

Suggested citation: Zarubina A.N., Ivankin A.N., Kuleznev A.S., Kochetkov V.A. *Tsellyuloza i nanotsellyuloza. Obzor* [Cellulose and nano cellulose. Review] // *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2019, vol. 23, no. 5, pp. 116–125. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-5-116-125

References

- [1] Sergeev G.B. *Nanokhimiya* [Nanotechnology]. Moscow: KDU, 2007, 336 p.
- [2] Ivankin A.N., Yushina Yu.K., Khvylya S.I., Gorbunova N.A., Evdokimov Yu.M., Vecheslavova I.V. *Mikronanoinkapsulirovanie kak metod vkhlyucheniya biologicheskii aktivnykh veshchestv v ingredienty pishchevogo naznacheniya* [Micronanoencapsulation as a method of incorporating biologically active substances into food ingredients]. Sb. nauchnykh trudov VNIIMP im V.M. Gorbatova [Scientific Proceedings. The V.M. Gorbatov VNIIMP Russian Academy of Agricultural Sciences], 2008, pp. 61–68.
- [3] Ivanova A.A., Novikov M.A., Titov E.A., Pozdnyakov A.S., Yemelyanov A.I., Ermakova T.G., Sosodova L.M., Prozorova G.F. *Issledovanie toksichnosti azotsoderzhashchego polimera i nanokompozita s nanochastitsami serebra* [Toxicity of a nitrogen-containing polymer and a nanocomposite with silver nanoparticles]. *Izvestiya vuzov. Prikladnaya khimiya i biotekhnologiya* [Izvestiya Vuzov. Applied chemistry and biotechnology], 2016, v. 6, no. 4, pp. 28–33.

- [4] Rogovin Z.A. *Khimiya tsellyulozy* [Cellulose Chemistry] Moscow: Khimiya [Chemistry], 1972, 520 p.
- [5] Olenin A.Yu., Lisichkin G.V. *Polucheniye i primeniye khimicheskii modifitsirovannykh nanochastits blagorodnykh metallov. Obzor* [Production and use of chemically modified nanoparticles of noble metals. Review]. *Zhurnal prikladnoy khimii* [Journal of Applied Chemistry], 2018, v. 91, no. 9, pp. 1219–1240.
- [6] Olenin A.Yu. *Khimicheskii modifitsirovannyye nanochastitsy zolota i serebra v spektrometricheskom analize* [Chemically Modified Gold and Silver Nanoparticles in Spectrometric Analysis] *Zhurnal analiticheskoy khimii* [Journal of Analytical Chemistry], 2019, v. 74, no. 4, pp. 254–278.
- [7] Archakov A.I. *Evolutsiya kontseptsii belkovoy korony nanochastits* [Evolution of the concept of the protein corona of nanoparticles] *Biomeditsinskaya khimiya* [Biomedical chemistry], 2019, v. 65, no. 1, pp. 5–8.
- [8] Bemiller J.N. *Cellulose and cellulose-based hydrocolloids*. Carbohydrate Chemistry for Food Scientists (Third Edition). Amsterdam: AACCI. Published by Elsevier Inc., 2019, pp. 223–240.
- [9] Rybin B.M., Zavrazhnova I.A., Rybin D.B. *Opredeleniye fizicheskikh pokazateley polimerov dlya derevoobrabotki po additivnyim funktsiyam gruppovykh vkladov khimicheskikh strukturnykh zven'ev* [Determination of physical indicators of polymers for woodworking by the additive functions of group contributions of chemical structural units]. *Lesnoy Vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, v. 22, no. 2, pp. 68–75.
- [10] Kononov G.N. *Dendrokimiya. Khimiya, nanokhimiya i biogeokhimiya komponentov kletok, tkaney i organov drevesnykh rasteniy. V 2 t.* [Dendrochemistry. Chemistry, nanochemistry and biogeochemistry of cell components, tissues and organs of woody plants. In two volumes]. Moscow: MGUL, 2015, v. I, 480 p.
- [11] Henschen J., Li D., Ek M. Preparation of cellulose nanomaterials via cellulose oxalates. *Carbohydrate Polymers*, 2019, v. 213, no. 6, pp. 208–216.
- [12] Amarala H.R., Cipriano D.F., Santosa M.S., Schettino M.A., Ferretib J.V.T., Meirelles C.S., Pereirac V.S., Cunha A.G., Emmericha F.G., Freitas J.C.C. Production of high-purity cellulose, cellulose acetate and cellulose-silica composite from babassu coconut shells. *Carbohydrate Polymers*, 2019, v. 210, no. 4, pp. 127–134.
- [13] Grinshpan D.D., Gonchar A.N., Savitskaya T.A., Tsygankova N.G., Makarevich S.E. Rheological properties of cellulose-chitosan-phosphoric acid systems in different phase states. *Polymer Science A*, 2014, v. 56, no. 2, pp. 137–145.
- [14] Gryshpan D.D., Razumeev K.E., Beloglazov A.P., Kudryavtseva T.N. *Proizvodstvo tekstil'nykh izdeliy s ispol'zovaniem samozatukhayushchikh tsellyulozno-khitozanovykh volokon* [Manufacture of textiles using self-extinguishing cellulose-chitosan fibers] *Shveytnaya promyshlennost'* [Clothing industry], 2016, no. 1–2, pp. 14–16.
- [15] Ivankin A.N., Kulikovskii A.V., Vostrikova N.L., Chernuha I.M. Cis and trans conformational changes of bacterial fatty acids in comparison with analogs of animal and vegetable origin. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 2014, v. 50, no. 6, pp. 668–674.
- [16] Khvylya S.I., Ivankin A.N., Evdokimov Yu.M., Proshina O.P. *Nanonomikroemul'sii kak ob'ekty inkapsulirovaniya prirodnykh biologicheskii aktivnykh veshchestv* [Nanonomicroemulsions as objects of encapsulation of natural biologically active substances]. *Praktik*, 2009, no. 3, pp. 16–22.
- [17] Ivankin A.N., Yushina Yu.K., Gorbunova N.A., Evdokimov Yu.M., Oliferenko G.L. *Nanomikrotekhnologii vklucheniya aktivnykh ingredientov v pishchevye kompozitsii* [Nanomicrotechnology for the inclusion of active ingredients in food compositions] *Myasnaya industriya* [Meat Industry], 2010, no. 1, pp. 23–25.
- [18] Kuznetsova T.G., Selivanova E.B., Bogdanova A.V., Ivankin A.N. *Nanoidentifikatsiya nanoob'ektov v sostave syr'ya i produktov pishchevogo naznacheniya* [Nano-identification of nano-objects in the composition of raw materials and food products] *Ekologicheskie sistemy i pribory* [Ecological Systems and Devices], 2012, no. 2, pp. 18–22.
- [19] Ivankin A.N., Gorbunova N.A. *Nanomikrotekhnologii vklucheniya biologicheskii aktivnykh ingredientov v pishchevye kompozitsii na osnove myasnogo syr'ya* [Nano micro technology of incorporation of biologically active ingredients into food compositions based on raw meat] *Sb. Nauchno-prakticheskoy konferentsii «Sovershenstvovanie tekhnologii proizvodstva produktov pitaniya v svete gosudarstvennoy programmy razvitiya s/kh na 2008–2012 gg.»*. Ch. 2. [Proc. Scientific-practical conference «Improvement of food production technologies in the light of the state program of agricultural development for 2008–2012». Part 2] Volgograd, 18–19 June 2008. Moscow: RASKhN [Russian Academy of Agricultural Sciences], 2008, pp. 60–64.
- [20] Ivankin A.N., Kulikovskii A.V., Vostrikova N.L., Chernucha I.M., Belaykov V.A., Lihanova L.M. Nano, micro transformations of thermo degraded products of wood and their influence on the safety of food. *J. Scientific Israel – Technological Advantages*, 2013, v. 15, no. 2, pp. 56–62.
- [21] Petrov V.A., Gibadullin M.R., Averyanova N.V., Mezikov V.K. *Polucheniye nanotsellyulozy i fiziko-mekhanicheskie kharakteristiki plenok na ee osnove* [Preparation of nano cellulose and physicochemical characteristics of films based on it] *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of Kazan Technological University], 2011, no. 14, pp. 181–185.
- [22] Proshina, O.P., Oliferenko, G.L., Evdokimov, Yu.M., Ivankin, A.N. *Nanotsellyuloza i polucheniye bumagi na ee osnove* [Nanocellulose and the preparation of paper based on it] *Tez. dokl. Mezhdunar. konf. «Nanotekhnologii i nanomaterialy v lesnom komplekse»* [Proc. report International conf. «Nanotechnologies and nanomaterials in the forest complex»]. Moscow 15–17 November 2011. Moscow: MGUL, 2011, pp. 24–28.
- [23] Savitskaya T.A. *S'edobnye polimernye plenki i pokrytiya: istoriya voprosa i sovremennoe sostoyaniye* [Edible polymer films and coatings: background and current state]. *Polimernyye materialy i tekhnologii* [Polymeric materials and technologies], 2016, v. 2, no. 2, pp. 6–36.
- [24] Yu Z., Rao G., Yan X., Huo P., Wang Ch., Savitskaya T., Hrynshpan. D. Preparation and properties of pea starch – poly lysine composite films. *Science and Technology of Food Industry Journal*, 2018, v. 39, no 13, pp. 89–94.
- [25] Brown R.M., Saxena I.M. Cellulose biosynthesis: A model for understanding the assembly of biopolymers. *Plant Physiol. Biochem.*, 2000, v. 38, no. 1–2, pp. 57–67.
- [26] Voronova M.I., Surov O.V., Rubleva N.V., Kochkina N.E., Prusova S.M., Gismatulina Yu.A., Budaeva V.V., Zakharov A.G. *Svoystva nanokristallicheskoy tsellyulozy, poluchennoy iz tsellyuloz odnoletnikh rasteniy* [Properties of nanocrystalline cellulose obtained from cellulose of annual plants] *Zhidkie kristally i ikh prakticheskoye ispol'zovaniye* [Liquid Crystals and their Application], 2017, v. 17, no. 4, pp. 97–105.

- [27] Flate D.M. *Tekhnologiya bumagi* [Paper technology]. Moscow: Lesn. prom-t' [Forest Industry], 1988, 440 p.
- [28] Ranby B.G. Fibrous macromolecular systems. Cellulose and muscle. The colloidal properties of cellulose micelles. Discuss. Faraday Soc., 1951, v. 11, pp. 158–164.
- [29] Bondeson D., Mathew A., Oksman K. Optimization of the isolation of nanocrystals from microcrystalline cellulose by acid hydrolysis. *Cellulose*, 2006, v. 13, no. 4, pp. 171–180.
- [30] Moon R.J., Martini A., Nairn J., Simonsen J., Youngblood J. Cellulose nanomaterials review: structure, properties and nanocomposites. *Chemical Society Reviews*, 2011, v. 40, pp. 3941–3994.
- [31] Lavoine N., Desloges I., Dufresne A., Bras J. Microfibrillated cellulose — its barrier properties and applications in cellulosic materials: a review. *Carbohydrate Polymers*. 2012, v. 90, no. 3, pp. 735–764.
- [32] Espinosa S.C., Kuhnt T., Foster E.J., Weder C. Isolation of thermally stable cellulose nanocrystals by phosphoric acid hydrolysis. *Biomacromolecules*, 2013, v. 14, no 4, pp. 1223–1230.
- [33] Revol J.F., Bradford H., Giasson J., Marchessault R.H., Gray D.G. Helicoidal self-ordering of cellulose microfibrils in aqueous suspension. *International Journal of Biological Macromolecules*, 1992, v. 14, no. 3, pp. 170–172.
- [34] Ryzhonkov D.I., Levina V.V., Dzidziguri E.L. *Nanomaterialy* [Nanomaterials]. Moscow: BINOM. Laboratory of Knowledge, 2008, 365 p.
- [35] Oblivin A.N., Lopatnikov M.V., Bryntsev V.A., Golubev I.G., Korovin V.V., Pogiba S.P., Ugolev B.N., Evdokimov Y. M., Azarov V.V., Kononov G.N., Ivankin A.N., Bykov V.V., Golubev M.I., Kharchenko V.N., Poluektov N.P., Tsargorodtsev Y. P., Usatov I.I. *Nanotekhnologii i nanomaterialy v lesnom komplekse* [Nanotechnologies and nanomaterials in the forest complex] Moscow: MSFU, 2011, 220 p.
- [36] Nekliudov A.D., Ivankin A.N. Biochemical processing of fats and oils into new lipid products with improved biological and physico-chemical properties. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 2002, v. 38, no. 5, pp. 469–481.
- [37] Marchessault R.H., Morehead F.F., Walter N.M. Liquid crystal systems from fibrillar polysaccharides. *Nature*, 1959, v.184, pp. 632–633.
- [38] Ivankin A.N., Proshina O.P. *Poverkhnostnye yavleniya i dispersnye sistemy* [Surface phenomena and disperse systems]. Moscow: MSFU, 2007, 36 p.
- [39] Ivankin A.N., Sanaev V.G., Gorbacheva G.A., Ageev A.K., Kiryukhin D.P., Kichigina G.A., Kushch P.P. *Modifikatsiya svoystv prirodnykh tsellyulozoderzhashchikh kompozitsionnykh materialov ftorsopolimerami i telomerami tetrafluoretilena* [Modification of the properties of natural cellulose-containing composite materials by fluorocopolymers and telomers of tetrafluoroethylene] *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal* [News of higher educational institutions. Forest Journal], 2018, no. 2 (362), pp. 122–132.
- [40] Neklyudov A.D., Ivankin A.N. *Biologicheski aktivnye soedineniya iz prirodnykh ob'ektov. Cvoystva i strukturno-funktsional'noe vzaimosvyazi* [Biologically active compounds from natural objects. Properties and structural-functional relationships]. Moscow: MSFU, 2003, 480 c.
- [41] Noorbakhsh-Soltani S.M., Zerfat M.M., Sabbaghi S. A comparative study of gelatin and starch-based nano-composite films modified by nano-cellulose and chitosa for food packaging applications. *Carbohydrate Polymers*, 2018, v. 189, no. 6, pp. 48–55.
- [42] Zavareze E.R., Kringel D.H., Dias A.R.G. Nano-scale polysaccharide materials in food and agricultural applications. *Advances in Food and Nutrition Research*, 2019, v. 51, no. 3, pp. 5–10.
- [43] Cherian J., Paulose J., Vysakh P. Harnessing nature's hidden material: Nano-Cellulose. *Materials Today; Proceedings*, 2018, v. 5, no. 5, part 2, pp. 12609–12614.
- [44] Liu L., Kerr W.L., Kong F., Dee D.R., Lin M. Influence of nano-fibrillated cellulose (NFC) on starch digestion and glucose absorption. *Carbohydrate Polymers*, 2018, v. 196, no. 9, pp. 146–153.
- [45] Pae N., Liew W.C., Muhamad I.I. Production of cellulose nano-crystals from bacterial fermentation. *Materials Today: Proceedings*, 2019, v. 7, part 2, pp. 754–762.
- [46] Phanthong P., Reubroycharoen P., Hao X., Xu G., Abudula A., Guan G. Nanocellulose: Extraction and application. *Carbon Resources Conversion*, 2018, v. 1, no. 1, pp. 32–43.
- [47] Kovalenko V.I. *Kristallicheskaya tsellyuloza: struktura i vodorodnye svyazi* [Crystal cellulose: structure and hydrogen bonds] *Uspekhi khimii* [Successes of Chemistry], 2010, v. 79, no. 3, pp. 261–272.
- [48] Araki J., Wada M., Kuga S., Okano T. Flow properties of microcrystalline cellulose suspension prepared by acid treatment of native cellulose. *Colloids and Surf. A*, 1998, v. 142, no. 1, pp. 75–82.

Authors' information

Zarubina Angella Nikolaevna — Cand. Sci. (Tech.), Head of the Department of Chemistry BMSTU (Mytishchi Branch) zarubina@mgul.ac.ru

Ivankin Andrey Nikolayevich — Dr. Sci. (Chem.), Professor of the BMSTU (Mytishchi Branch), aivankin@mgul.ac.ru

Kuleznev Aleksey Sergeevich — student of the BMSTU (Mytishchi Branch), kuleznev00@mail.ru

Kochetkov Vyacheslav Andreevich — student of the BMSTU (Mytishchi Branch), slava-kochetkov28@mail.ru

Received 19.04.2019.

Accepted for publication 19.06.2019.

ПРИМЕНЕНИЕ АППАРАТА МЯГКИХ ВЫЧИСЛЕНИЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

О.М. Полещук

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

poleshchuk@mgul.ac.ru

Предлагается подход к решению задач лесопромышленного комплекса на основе аппарата мягких вычислений. Мягкие вычисления включают в себя теорию нечетких множеств, нечеткую логику, нечеткие нейронные сети и генетические алгоритмы. Предложенный подход является объективно необходимым, поскольку он дополняет классический математический аппарат в условиях неполной и неточной информации и значительно расширяет его возможности при учете неопределенности разных типов. В статье приведены основные понятия, показана эффективность мягких вычислений для актуальных практических задач. Построена нечеткая нейронная сеть для прогноза семеношения лесных культур в условиях техногенных ландшафтов. Разработана модель рейтингового оценивания состояния зеленых насаждений в условиях больших городов. Для контроля и прогноза поведения древесины в результате ее гидротермической обработки разработан нечеткий логический контроллер. Для борьбы с лесными пожарами предлагается нечеткая логическая модель оценки категории пожароопасности.

Ключевые слова: мягкие вычисления, лингвистическая переменная, нечеткая логика, нечеткая нейронная сеть, лесопромышленный комплекс

Ссылка для цитирования: Полещук О.М. Применение аппарата мягких вычислений для решения задач лесопромышленного комплекса // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2019. Т. 23. № 5. С. 126–137.
DOI: 10.18698/2542-1468-2019-5-126-137

В 1994 г. профессор Калифорнийского университета г. Беркли Лотфи Заде впервые ввел понятие «мягкие вычисления», которое является совокупностью неточных, приближенных вычислений, основанных на нечетких множествах, нечеткой логике, нечетких нейронных сетях и генетических алгоритмах. Последующие 25 лет стали периодом бурного развития теоретических основ и практических приложений мягких вычислений. Практика показала, что аппарат мягких вычислений способен решать задачи поддержки принятия решений в условиях неточной, неполной информации в разных областях деятельности человека.

Цель работы

Цель работы — на основе аппарата мягких вычислений определить подход к решению задач лесопромышленного комплекса.

Материалы и методы

Чтобы понять, почему для решения задач лесопромышленного комплекса необходим аппарат мягких вычислений, следует рассмотреть такие высказывания: «при длительной гидротермической обработке в древесине накапливаются продукты гидролиза полисахаридов» и «древесина имеет весьма существенные недостатки: высокую горючесть, склонность к гниению, гигроскопичность, которая приводит к трещинообразованию и

частичной потере несущей способности». В этих высказываниях используются слова естественного профессионального языка, такие, как «длительная гидротермическая обработка», «высокая горючесть», «весьма существенные недостатки», «частичная потеря несущей способности». Использование таких слов не является искусственно созданным исключением, это норма при описании и оценивании происходящих процессов. Однако все эти высказывания являются нечеткими и требуют пояснения, адекватной формализации на основе теории нечетких множеств и построения моделей на основе нечеткой логики.

При оценке состояния видов деревьев и кустарников обычно используется набор понятий свежий сухостой; усыхающее; сильно ослабленное; средне ослабленное; умеренно ослабленное; здоровое без признаков ослабления. Очевидно, что все они нечеткие и требуют формализации.

В пункте II «Исчисление расчетной лесосеки» приказа Рослесхоза № 191 от 27 мая 2011 г. при обосновании оптимального размера расчетной лесосеки используются понятия и определения, которые также можно отнести к нечетким (неопределенным). Например, в подпункте а) — «в лесах с относительно равномерным распределением площади лесных насаждений»; в подпункте б) — «запасы составляют более 50 процентов», «при близких значениях размера расчетной лесосеки»; в подпункте в) — «первая возрастная лесосека является оптимальной в хозяйствах...» и т. д.

Когда речь идет об «относительно равномерном распределении площади лесных насаждений», то не только компьютер, но даже не каждый специалист пояснит понятие «относительно равномерное». Скорее всего, это понятие сможет пояснить узкий специалист-эксперт. Рассмотрим понятие — «запасы составляют более 50 %». Вопрос — на сколько процентов более? Например, если мы имеем запасы древесины спелых и перестойных лесных насаждений 50,01 % от общего запаса древесины, то можно в этом случае считать, что мы имеем оптимальную расчетную лесосеку, исчисленную методами второй возрастной и интегральной лесосеки? А если 50 %, то можно считать, что мы имеем не оптимальную расчетную лесосеку?

Чтобы дать ответы на эти вопросы, крайне важно учесть накопленный опыт экспертов и применить его в рамках моделей реального мира. Без этого, в результате неопределенности исходной информации, принятие решений неминуемо приведет к высоким рискам и непростительным ошибкам. Поэтому все понятия реального мира и профессиональных областей деятельности должны быть формализованы и приведены к состоянию, воспринимаемому компьютером.

Во избежание возможных проблем необходимо использовать современные методы математического моделирования и обработки информации. Тем не менее классическая теория множеств и классические разделы математики не могут формализовать некоторые понятия и процессы реального мира в силу отсутствия необходимого аппарата, а попытки такой формализации приводят к утрате информации и увеличению погрешностей.

В результате проведения необходимых исследований была сформулирована теория нечетких множеств, позволившая моделировать многие процессы реального мира, а также мыслительную деятельность экспертов в форме, воспринимаемой компьютером.

Следующим этапом развития теории нечетких множеств стало появление нечеткой логики, которая в настоящее время успешно применяется к широкому спектру технических проблем. Главным преимуществом нечеткой логической системы является способность выражения нелинейных зависимостей входной и выходной информации через ряд качественных правил «если — то». У нечеткой логики есть способность работать как с числовыми данными, так и с информацией на основе слов естественного языка. Аппарат нечеткой логики предлагает альтернативные решения, когда математическая модель явления или процесса не существует в рамках традиционных формализмов или неточна.

Методы нечеткой логики в совокупности с нейронными сетями легли в основу нейро-нечетких технологий.

Так шаг за шагом для формализации понятий и процессов реального мира, а также для получения адекватных конечных результатов в задачах принятия решений разрабатывался аппарат мягких вычислений, который крайне актуален, в том числе для решения задач лесопромышленного комплекса.

Необходимые понятия и определения

Нечетким множеством \tilde{A} [1] называется множество пар вида

$$\{(x, \mu_{\tilde{A}}(x)) : x \in X\},$$

где $\mu_{\tilde{A}}(x) : X \rightarrow [0, 1]$.

Нечетким числом \tilde{A} называется нечеткое множество [1], имеющее функцию принадлежности $\mu_{\tilde{A}}(x) : R \rightarrow [0, 1]$.

Нечеткой переменной [2] называется тройка

$$\{X, U, \tilde{A}\},$$

где X — название переменной;

U — область ее определения (универсальное множество);

\tilde{A} — нечеткое множество универсального множества, описывающее возможные значения нечеткой переменной.

На основе понятия нечеткой переменной вводится понятие лингвистической переменной.

Лингвистической переменной [2] называется пятерка

$$\{X, T(X), U, V, S\},$$

где X — название переменной;

$T(X) = \{X_l, l = \overline{1, m}\}$ — терм-множество переменной X , т. е. множество термов или названий лингвистических значений переменной X (каждое из этих значений — нечеткая переменная со значениями из универсального множества U);

V — синтаксическое правило, порождающее названия значений лингвистической переменной X ;

S — семантическое правило, которое ставит в соответствие каждой нечеткой переменной с названием из $T(X)$ нечеткое подмножество универсального множества U .

$$\tilde{A}^1 = \left\{ \begin{array}{l} \tilde{A}_1^1 : \left\langle \begin{array}{l} \text{если } X_{11} \text{ и } X_{21} \text{ и...и } X_{n1} \text{ или } X_{12} \text{ и } X_{21} \text{ и...и } X_{n1} \\ \text{или...или } X_{11} \text{ и } X_{21} \text{ и...и } X_{n2}, \text{ то } Y_1 \end{array} \right\rangle; \\ \tilde{A}_2^1 : \left\langle \begin{array}{l} \text{если } X_{12} \text{ и } X_{22} \text{ и...и } X_{n2} \text{ или } X_{12} \text{ и } X_{23} \text{ и...и } X_{n3} \\ \text{или...или } X_{13} \text{ и } X_{23} \text{ и...и } X_{n2}, \text{ то } Y_2 \end{array} \right\rangle; \\ \dots\dots\dots \\ \tilde{A}_m^1 : \left\langle \begin{array}{l} \text{если } X_{1m_1} \text{ и } X_{2m_2} \text{ и...и } X_{nm_n} \text{ или } X_{1m_1} \text{ и } X_{2m_2-1} \text{ и...и } X_{nm_n} \\ \text{или...или } X_{1m_1-1} \text{ и } X_{2m_2} \text{ и...и } X_{nm_n-1}, \text{ то } Y_m \end{array} \right\rangle. \end{array} \right. \quad (1)$$

$$\tilde{A}^2 = \left\{ \begin{array}{l} \tilde{A}_1^2 : \left\langle \begin{array}{l} \text{если } Y_1, \text{ то } X_{11} \text{ и } X_{21} \text{ и...и } X_{n1} \text{ или } X_{12} \text{ и } X_{21} \text{ и...и } X_{n1} \\ \text{или...или } X_{11} \text{ и } X_{21} \text{ и...и } X_{n2} \end{array} \right\rangle; \\ \tilde{A}_2^2 : \left\langle \begin{array}{l} \text{если } Y_2, \text{ то } X_{12} \text{ и } X_{22} \text{ и...и } X_{n2} \text{ или } X_{12} \text{ и } X_{21} \text{ и...и } X_{n2} \\ \text{или...или } X_{13} \text{ и } X_{22} \text{ и...и } X_{n1} \end{array} \right\rangle; \\ \dots\dots\dots \\ \tilde{A}_m^2 : \left\langle \begin{array}{l} \text{если } Y_m, \text{ то } X_{1m_1} \text{ и } X_{2m_2} \text{ и...и } X_{nm_n} \text{ или } X_{1m_1-1} \text{ и } X_{2m_2} \text{ и...и } X_{nm_n} \\ \text{или...или } X_{1m_1} \text{ и } X_{2m_2} \text{ и...и } X_{nm_n-1} \end{array} \right\rangle. \end{array} \right. \quad (2)$$

В настоящее время известны четыре уровня вычислений: 1) с обычными числами; 2) с интервалами; 3) со случайными и нечеткими числами; 4) с Z-числами.

Вычисления с помощью этих уровней позволяют моделировать самые сложные понятия и процессы реального мира.

Z-число состоит из упорядоченной пары нечетких чисел $Z = (A, B)$. Первое нечеткое число — это значение, которое принимает некоторая нечеткая переменная X , второе — является показателем надежности (достоверности) первого числа, т. е. выражает значение уверенности (возможности, вероятности), что нечеткая переменная X принимает значение A [3].

Пусть X_1, X_2, \dots, X_n — лингвистические переменные соответственно с универсальными множествами U_1, U_2, \dots, U_n и термами $\{X_{il}\}$, $i = 1, n, l = 1, m_i$, которые имеют функции принадлежности $\{\mu_{il}(x)\}$, $i = \overline{1, n}, l = \overline{1, m_i}$. Пусть Y —

лингвистическая переменная с универсальным множеством U и термами $\{Y_l\}$, $l = \overline{1, m}$, которые

имеют функции принадлежности $\{\mu_l(x)\}$, $l = \overline{1, m}$.

Система нечеткого логического вывода может быть представлена в одном из двух видов: X_1, X_2, \dots, X_n — входная информация, а Y — выходная или входная информация, X_1, X_2, \dots, X_n — выходная. В первом случае система нечеткого логического вывода представляется в виде (1).

Во втором случае система нечеткого логического вывода представляется в виде (2).

Системы логического вывода позволяют получать выходную информацию в условиях, когда необходимо учесть опыт и знания экспертов, а формальную математическую модель построить сложно [4].

Рейтинговые системы широко применяются в разных областях деятельности человека, но большую трудность вызывают процедуры нахождения рейтинговых оценок в рамках качественных характеристик. Это обусловлено отсутствием арифметических операций для порядковых шкал, в которых чаще всего измеряются качественные характеристики. Теория нечетких множеств позволяет сделать корректной процедуру рейтингового оценивания объектов в рамках качественных характеристик. Подобный подход актуален для задач лесопромышленного комплекса и, в частности, для задач мониторинга состояния зеленых насаждений в условиях больших городов.

Операции обобщенного умножения и сложения для нечетких множеств [4] определяются на основе треугольных норм и треугольных конорм, они не являются привычными арифметическими операциями и позволяют корректно оперировать разнородными (в том числе и качественными) характеристиками.

Треугольной нормой (T-нормой) называется действительная двухместная функция $T : [0, 1] \times [0, 1] \rightarrow [0, 1]$, удовлетворяющая четырем условиям:

1) $T(0, 0) = 0, T(\mu_{\bar{A}}, 1) = T(1, \mu_{\bar{A}}) = \mu_{\bar{A}}$ (ограниченность);

2) $T(\mu_{\bar{A}}, \mu_{\bar{B}}) \leq T(\mu_{\bar{C}}, \mu_{\bar{D}})$, если $\mu_{\bar{A}} \leq \mu_{\bar{C}}, \mu_{\bar{B}} \leq \mu_{\bar{D}}$ (монотонность);

3) $T(\mu_{\bar{A}}, \mu_{\bar{B}}) = T(\mu_{\bar{B}}, \mu_{\bar{A}})$ (коммутативность);

4) $T(\mu_{\bar{A}}, T(\mu_{\bar{B}}, \mu_{\bar{C}})) = T(T(\mu_{\bar{A}}, \mu_{\bar{B}}), \mu_{\bar{C}})$ (ассоциативность).

Треугольной конормой (T -конормой) называется действительная двухместная функция $K : [0, 1] \times [0, 1] \rightarrow [0, 1]$, также удовлетворяющая четырем условиям:

1) $K(0, 0) = 0, K(\mu_{\bar{A}}, 0) = K(0, \mu_{\bar{A}}) = \mu_{\bar{A}}$ (ограниченность);

2) $K(\mu_{\bar{A}}, \mu_{\bar{B}}) \leq K(\mu_{\bar{C}}, \mu_{\bar{D}})$, если $\mu_{\bar{A}} \leq \mu_{\bar{C}}, \mu_{\bar{B}} \leq \mu_{\bar{D}}$ (монотонность);

3) $K(\mu_{\bar{A}}, \mu_{\bar{B}}) = K(\mu_{\bar{B}}, \mu_{\bar{A}})$ (коммутативность);

4) $K(\mu_{\bar{A}}, K(\mu_{\bar{B}}, \mu_{\bar{C}})) = K(K(\mu_{\bar{A}}, \mu_{\bar{B}}), \mu_{\bar{C}})$ (ассоциативность).

Технологии искусственного интеллекта, основанные на методах нечеткой логики и нейронных сетях, получили название нейро-нечетких технологий. Причины объединить их вместе вытекают из ограничений и трудностей, присущих каждому из методов в отдельности. В основе нейро-нечетких сетей лежит аппарат нечеткой логики, на базе которого делаются окончательные выводы, а соответствующие функции принадлежности настраиваются на основе алгоритмов обучения нейронных сетей, например, алгоритма обратного распространения ошибки или метода рекуррентного спуска.

Нейрон — это вычислительная единица, которая получает информацию, производит над ней простые вычисления и передает ее дальше. Нейроны делятся на три основных типа: 1) входной; 2) скрытый; 3) выходной. У каждого из нейронов есть два основных параметра: входные данные и выходные данные. Синапс — связь между двумя нейронами. У синапсов параметром является вес. При инициализации вес нейронов расставляется случайно. Выходная информация для нейрона — сумма всех входных данных, умноженных на соответствующие веса.

Выбор нейро-нечетких моделей осуществляется в зависимости от класса решаемых задач.

В настоящее время наибольшее применение получили модели ANFIS и FALCON.

Нейро-нечеткая сеть ANFIS (Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System) реализует нечеткую систему логического вывода Такаги — Сугено [5, 6].

Модель FALCON (Fuzzy Adaptive learning Control Network) реализует систему нечеткого логического вывода Мамдани [7].

Структура сети ANFIS гарантирует, что каждый лингвистический термин представлен только одним нечетким множеством, что достаточно удобно для устранения дополнительной неопределенности, поэтому именно ANFIS предлагается использовать для решения задач лесопромышленного комплекса. Эта сеть состоит из пяти слоев. Опишем кратко функции каждого слоя.

Первый слой — входные нейроны, которые представляют собой числовые значения определенных термов лингвистических переменных. Узлами первого слоя являются функции принадлежности этих лингвистических переменных. Число узлов первого слоя соответствует числу термов входных лингвистических переменных. Выходом каждого узла является степень принадлежности числового входного значения к определенному терму лингвистических переменных. Первый слой называется слоем фазсификации входных данных.

Второй слой — входные нейроны, которые представляют собой значения функций принадлежности лингвистических переменных. Узлами второго слоя являются нечеткие правила. Число узлов соответствует числу нечетких правил. Каждый узел отвечает за одно правило. Нейроны второго слоя связаны только с теми нейронами первого слоя, которые входят в это правило.

Третий слой — входные нейроны, реализовавшие нечеткие правила узлов второго слоя. Узлами третьего слоя являются операции треугольной нормы (T -нормы). Частным случаем этой операции является, например, широко используемая операция взятия минимума или умножения. Число узлов третьего слоя равно числу строк — конъюнкций (логическая операция И) в системе нечетких правил. Выходными нейронами третьего слоя являются результаты операций T -нормы.

Четвертый слой — входные нейроны после выполнения операции треугольной нормы третьего слоя. Узлами четвертого слоя являются операции треугольной конормы. Частным случаем этой операции является, например, широко используемая операция взятия максимума или сложения. Число узлов четвертого слоя соответствует числу лингвистических термов выходной переменной.

Пятый слой суммирует вклад каждого правила и находит четкое выходное значение. Пятый слой называется слоем дефазсификации.

Классические нейронные сети
Classic neural networks

Тип сети	Ошибка		Метод обучения	Функции	
	на обучающей выборке	на тестовой выборке		активации скрытого слоя	активации выходного слоя
MLP 5-34-1	0,003776	0,002532	BFGS 10	Exponential	Exponential
MLP 5-30-1	0,002574	0,002800	BFGS 77	Logistic	Sine
MLP 5-11-1	0,003140	0,002595	BFGS 25	Exponential	Identity
MLP 5-23-1	0,002917	0,002802	BFGS 41	»»	Logistic
MLP 5-30-1	0,002931	0,002239	BFGS 54	Tanh	Tanh

Существует несколько методов дефазификации [8], один из них используется наиболее часто — метод центра тяжести [9].

Прогноз семеношения лесных культур в условиях техногенных ландшафтов на основе нейро-нечеткой модели

Важное значение для экономики и общества имеют леса, создаваемые на нарушенных землях в условиях техногенных ландшафтов, поскольку имеют лесохозяйственно-сырьевое назначение, выполняют важные почвозащитную, водоохранную и рекреационную функции, улучшают санитарно-гигиенические условия окружающей среды. Актуальна проблема создания семенной базы лесных пород, используемых для рекультивации техногенных ландшафтов в зависимости от их специфики. Решение этой проблемы невозможно без анализа результатов первичного испытания древесных растений, прогноза семенной продуктивности и качества семян по результатам этих испытаний [10].

Для прогноза семеношения сосны Банка на рекультивационных ландшафтах Егорьевского месторождения фосфоритов были взяты данные этой сосны по урожаю шишек за несколько последних лет. В качестве выходной переменной рассматривалась масса семян после сушки (в граммах), в качестве входных переменных рассматривались: x_1 — масса шишки до сушки в граммах; x_2 — длина шишки до сушки в сантиметрах; x_3 — диаметр шишки до сушки в сантиметрах; x_4 — масса шишки после сушки (в граммах); x_5 — количество семян после сушки.

Выбор сосны Банка для исследования не случаен, поскольку она приспособлена к суровому климату и отмечается быстрым ростом (дает по 2–3 прироста в год).

Проведено 300 наблюдений по каждому из входных и выходному параметрам. Выборка данных случайным образом разделялась на две части. 250 наблюдений одной части использовались для

обучения сети и оставшиеся 50 наблюдений использовались для проверки построенной модели.

По исходной информации для прогноза семеношения сосны построены классические нейронные сети и нейро-нечеткая сеть, проведен их сравнительный анализ и выбрана лучшая сеть.

Классические нейронные сети построены в программе Statistica 8 с помощью мастера построения сетей. Программой определены пять различных вариантов сетей с минимальной ошибкой (табл. 1).

Для каждой сети получены следующие результаты (для обучения использовались 100 % данных, предсказывалось 100 % данных): для первой сети $R^2 = 0,886341$, процент верного прогноза — 39; для второй сети $R^2 = 0,891925$, процент верного прогноза — 41; для третьей сети $R^2 = 0,865737$, процент верного прогноза — 34; для четвертой сети $R^2 = 0,871172$, процент верного прогноза — 37; для пятой сети $R^2 = 0,900684$, процент верного прогноза — 39.

Построение нейро-нечеткой модели для прогноза семеношения сосны Банка на рекультивационных ландшафтах Егорьевского месторождения фосфоритов осуществлялось в программе MATLAB 7.11. Была сформирована система нечетких правил вывода с 75 правилами и весами, определенными в процессе итерационного обучения с помощью нейронной сети. Были получены следующие результаты: $R^2 = 0,994013$, процент верного прогноза — 89. Ошибка на обучающей выборке равна 0,001824, ошибка на тестовой выборке — 0,001157. Результаты прогноза нейро-нечеткой модели показали лучшие результаты по сравнению с результатами классических нейронных сетей [11].

Определение рейтинговых оценок зеленых насаждений в условиях больших городов

Экспертное оценивание состояния зеленых насаждений является одной из основных задач экологического мониторинга [12]. Получение экспертных оценок заключается в визуальном обследовании насаждений и отнесении отдельных

экземпляров растений к одному из уровней вербальной шкалы с семью уровнями $X_l, l=1,7$: старый сухой; свежий сухой; усыхающее; сильно ослабленное; средне ослабленное; умеренно ослабленное; здоровое без признаков ослабления.

Задача рейтингового оценивания состояния видов растений на основе экспертных оценок непосредственно связана с задачей определения видов насаждений наиболее адаптированных к произрастанию в сложных экологических условиях большого города и с задачей планирования различных мероприятий на объектах озеленения.

Рассмотрим 17 видов насаждений и обозначим через $a_{il}, i=1,17, l=1,7$ относительное число растений i -го вида, отнесенных экспертами к l -му уровню вербальной шкалы. Обозначим через $a_l, l=1,7$ — относительное число растений всех видов, отнесенных к l -му уровню вербальной шкалы (табл. 2, 3).

По данным табл. 2 построена лингвистическая переменная, формализующая значения $X_l, l=1,7$: старый сухой; свежий сухой; усыхающее; сильно ослабленное; средне ослабленное; умеренно ослабленное; здоровое без признаков ослабления. Параметры функций принадлежности $\mu_l, l=1,7$ термов $X_l, l=1,7$ приведены в табл. 4.

Функции принадлежности нечетких рейтинговых оценок состояния видов растений находим по формуле

$$\lambda_i = a_{i1} \otimes \mu_1 \oplus a_{i2} \otimes \mu_2 \oplus \dots \oplus a_{i7} \otimes \mu_7, i = \overline{1,17};$$

где \otimes, \oplus — соответственно обобщенные операции умножения и сложения [4].

Т а б л и ц а 2

Данные по всем видам насаждений

Data on all types of plantings

a_i	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7
Относительное число растений всех видов, отнесенных к уровням шкалы	0,009	0,010	0,030	0,130	0,289	0,437	0,095

Полученные нечеткие числа дефазифицированы по методу центра тяжести и найдены нормированные рейтинговые оценки (табл. 5).

Проведенный анализ позволяет оценить устойчивость видов растений в условиях интенсивного антропогенного воздействия и принять решения по сохранению отдельных видов и включению их в план озеленения.

Нечеткий контроллер поведения древесины при гидротермической обработке

Древесина — это материал сложного строения, состоящий главным образом из трех биополимеров: лигнина, целлюлозы и гемицеллюлозы. В дополнение к этим полимерным компонентам древесина может содержать экстрактивные веще-

Т а б л и ц а 3

Данные по отдельным видам насаждений

Data on certain types of stands

Название вида	a_{il}						
	a_{i1}	a_{i2}	a_{i3}	a_{i4}	a_{i5}	a_{i6}	a_{i7}
Береза повислая	0,009	0,032	0,060	0,100	0,660	0,070	0,069
Боярышник полумягкий	0,000	0,009	0,180	0,290	0,450	0,030	0,041
Вяз гладкий	0,000	0,020	0,048	0,510	0,296	0,060	0,066
Вяз шершавый	0,022	0,000	0,043	0,365	0,365	0,182	0,023
Боярышник однопестичный	0,000	0,054	0,055	0,363	0,253	0,154	0,121
Кизильник блестящий	0,000	0,000	0,050	0,230	0,670	0,050	0,000
Клен остролистный	0,006	0,054	0,030	0,087	0,468	0,235	0,120
Клен татарский	0,000	0,000	0,000	0,139	0,805	0,028	0,028
Клен ясенелистный	0,000	0,026	0,068	0,273	0,462	0,120	0,051
Липа крупнолистная	0,000	0,008	0,061	0,220	0,365	0,262	0,084
Липа мелколистная	0,000	0,027	0,073	0,304	0,419	0,145	0,032
Сирень венгерская	0,014	0,021	0,021	0,119	0,594	0,203	0,028
Сирень обыкновенная	0,010	0,019	0,060	0,235	0,413	0,255	0,008
Тополь душистый	0,000	0,019	0,029	0,466	0,310	0,049	0,127
Тополь бальзамический	0,001	0,160	0,037	0,303	0,417	0,070	0,012
Ясень обыкновенный	0,000	0,079	0,048	0,190	0,365	0,270	0,048
Ясень пенсильванский	0,003	0,062	0,074	0,356	0,411	0,067	0,027

Т а б л и ц а 4
Параметры функций принадлежности
 $\mu_l, l = \overline{1,7}$ термов $X_l, l = \overline{1,7}$
Parameters of membership function
 $\mu_l, l = \overline{1,7}$ term $X_l, l = \overline{1,7}$

μ_1	0,000	0,0045	0,000	0,009
μ_2	0,0135	0,0135	0,009	0,011
μ_3	0,0245	0,0245	0,011	0,049
μ_4	0,0735	0,0735	0,049	0,211
μ_5	0,2845	0,324	0,211	0,367
μ_6	0,6515	0,8575	0,367	0,095
μ_7	0,9525	1,000	0,0475	0,000

ства в небольших количествах и несколько классов органических соединений, таких, как сахар, танины, терпены, жиры или воск. Следствием сложного строения древесины является возникающая неопределенность (нечеткость) поведения древесины в процессе ее гидротермической обработки.

Гидротермическая обработка древесины — один из процессов, используемых для ее облагораживания, который служит для улучшения естественных свойств древесины, таких, как устойчивость к деформации, сопротивляемость к биологической коррозии и грибковым заболеваниям [13, 14]. Главными целями промышленной гидротермической обработки являются увеличение биологической стойкости древесины

к загниванию, улучшение ее устойчивости к атмосферным воздействиям. При выдерживании древесины в воде происходит ее разбухание и увеличение массы. При воздействии высоких температур на древесину могут происходить уменьшение степени ее гигроскопичности, разбухания и усушки по причине формирования простых эфирных связей путем разделения двух смежных гидроксильных групп, т. е. в результате термической обработки и термической деструкции разбухание уменьшается и древесина теряет массу. Кроме того, потеря массы зависит от температуры, времени и преобладающих условий термической обработки, а также размера образца. С другой стороны, в результате термической обработки древесина становится более хрупкой, ее прочность на изгиб и растяжение уменьшаются. Таким образом, учитывая сложность строения древесины и, как следствие, неопределенность ее поведения в процессе гидротермической обработки, представляется актуальной задача построения нечеткого контроллера, позволяющего контролировать и прогнозировать поведение древесины (рис. 1).

Входной информацией нечеткого логического контроллера для контроля и прогноза разбухания древесины и увеличения ее массы являются числовые значения двух переменных — температура термической обработки (в градусах) и время выдерживания в воде (в часах). Выходной информацией являются разбухание образца

Т а б л и ц а 5
Нечеткие рейтинговые оценки, рейтинговые оценки и рейтинг видов растений

Fuzzy ratings, ratings, and plant species ratings

Название вида	λ_i^1				E_i^1	Рейтинг
Береза повислая	0,285	0,399	0,138	0,113	0,349	17
Боярышник полумягкий	0,412	0,522	0,147	0,161	0,494	13
Вяз гладкий	0,508	0,690	0,224	0,133	0,602	3
Вяз шершавый	0,488	0,635	0,183	0,125	0,572	7
Боярышник однопестичный	0,283	0,516	0,706	0,845	0,613	2
Кизильник блестящий	0,339	0,563	0,747	0,857	0,654	1
Клен остролистный	0,324	0,487	0,617	0,730	0,564	9
Клен татарский	0,273	0,443	0,576	0,706	0,522	11
Клен ясенелистный	0,206	0,376	0,515	0,676	0,464	16
Липа крупнолистная	0,327	0,506	0,645	0,777	0,590	5
Липа мелколистная	0,230	0,399	0,532	0,686	0,483	14
Сирень венгерская	0,228	0,393	0,523	0,680	0,477	15
Сирень обыкновенная	0,285	0,480	0,633	0,779	0,569	8
Тополь душистый	0,325	0,502	0,643	0,742	0,577	6
Тополь бальзамический	0,300	0,469	0,603	0,716	0,546	10
Ясень обыкновенный	0,318	0,507	0,653	0,788	0,592	4
Ясень пенсильванский	0,230	0,411	0,557	0,715	0,500	12

Примечание. λ_i^1 — параметры функции принадлежности нечетких рейтинговых оценок; E_i^1 — четкая рейтинговая оценка

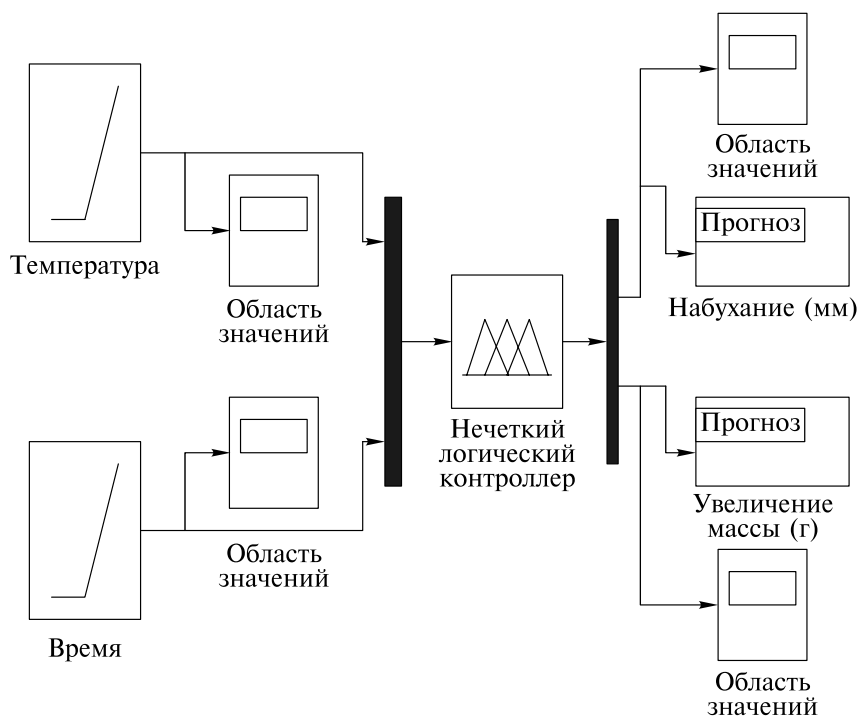


Рис. 1. Схема использования нечеткого логического контроллера поведения древесины
Fig. 1. Scheme of using a fuzzy logical controller of wood behavior

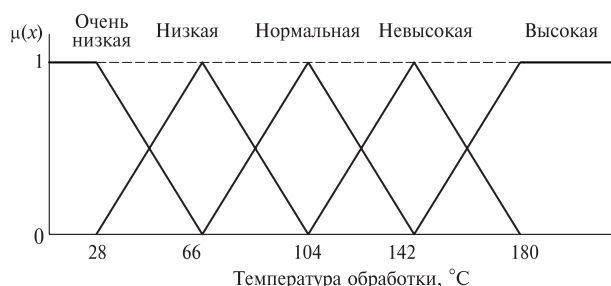


Рис. 2. Лингвистическая переменная «температура термической обработки древесины»
Fig. 2. Linguistic variable «heat wood treatment temperature»

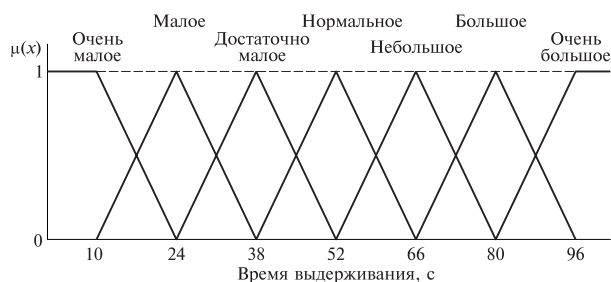


Рис. 3. Лингвистическая переменная «время выдерживания образца древесины в воде»
Fig. 3. Linguistic variable «the exposure time of sample wood in water»

древесины (в миллиметрах) и увеличение массы (в граммах). Для входных и выходных переменных определяются уровни лингвистических шкал и осуществляется построение соответствующих лингвистических переменных. Определение входных и выходных лингвистических переменных контроллера, так же, как и правил нечеткого логического вывода, основано на практических (экспертных) знаниях и на интуиции. Таким образом, необходимой составляющей нечеткого контроллера является база знаний. Для температуры при термической обработке предлагается использовать следующие уровни: очень низкая; низкая; нормальная; невысокая; высокая; для времени выдерживания испытательных образцов в воде такие: очень малое; малое; достаточно малое; нормальное; небольшое; большое; очень боль-

шое. Количество уровней для лингвистических переменных определяется на основе практических (экспертных) знаний. Кроме этого разработан метод определения оптимального множества лингвистических шкал [15]. Лингвистические переменные для температуры термической обработки и времени выдерживания в воде представлены соответственно на рис. 2 и 3.

Как видно из рис. 2, 3, в качестве функций принадлежности термов (значений) лингвистических переменных выбраны треугольные функции принадлежности. Однако, опираясь на опыт экспертов, можно выбрать трапециевидальные функции принадлежности (графиком которых являются трапеции). Отличие треугольной и трапециевидальной функции принадлежности нечеткого множества состоит в том, что в случае треугольной

функции принадлежности множество имеет одного типичного представителя (точку), а в случае трапецидальной функции принадлежности множество имеет несчетное число типичных представителей (отрезок). Аналогично строятся остальные лингвистические переменные.

После построения лингвистических переменных блок «Фаззификатор» ставит в соответствие числовым значениям переменных их лингвистические значения, т. е. значения функций принадлежности соответствующих термов.

Далее лингвистические значения поступают в блок системы нечеткого логического вывода, для построения которого используется опыт экспертов и, возможно, их интуиция. Правила логического вывода строятся по принципу «ЕСЛИ...И..., ТО...». Например: «Если температура термической обработки нормальная и время выдерживания нормальное, то разбухание малое» или «Если температура термической обработки невысокая и время выдерживания небольшое, то разбухание нормальное». В основе системы нечеткого логического вывода лежит алгоритм Мамдани [7].

После применения этой системы в блок «Дефаззификатор» поступает функция принадлежности выходной переменной, где по одному из известных правил этой функции принадлежности в соответствие ставится число, которое является прогнозным значением выходной переменной и может использоваться для выработки управляющих воздействий.

Нечеткая логическая модель оценки лесной пожароопасности

Лесные пожары входят в число самых распространенных стихийных бедствий для всех стран мира с точки зрения обширности воздействия и негативных последствий. В результате пожаров во всем мире ежегодно уничтожаются миллионы гектаров лесов, а на борьбу с ними, в том числе и на противопожарные мероприятия, затрачиваются огромные средства. Пожары уносят жизни людей и наносят большой ущерб тем или иным странам. Быстрое обнаружение возгорания и немедленное реагирование на него с применением всех мер защиты — наиболее эффективный способ устранения лесных пожаров. В настоящее время проводятся различные исследования в целях совершенствования систем раннего прогнозирования и быстрого обнаружения пожаров и осуществляется разработка стратегии реагирования [16–18].

Одной из важнейшей составляющих систем раннего прогнозирования пожаров является определение категории пожароопасности. Само понятие «пожароопасность» — нечеткое, поскольку

его нельзя измерить ни одним физическим прибором, оно находится в зависимости от ряда характеристик, по сути, тоже нечетких. Поэтому подход к построению модели на основе нечеткой логики можно считать единственно обоснованным. Нечеткие модели эффективно используют экспертные знания путем их включения в конструкцию нечетких правил и при определении функций принадлежности лингвистических переменных, формализующих значения исследуемых параметров. Например, для построения функций принадлежности переменной «площадь пожара» эксперт должен ответить на вопрос: когда площадь пожара считается, скорее, большей, чем средней?, и его ответ поможет избежать риска существенных ошибок в задачах принятия решений.

В качестве входных переменных нечеткой модели оценки пожароопасности предлагаются следующие переменные: X_1 — код влажности очищенного горючего материала; X_2 — код влажности лесной подстилки; X_3 — код засушливого периода; X_4 — индекс погоды, благоприятствующей возникновению лесных пожаров, как выходная используется переменная Y — категория пожароопасности.

Нечеткая логическая модель включает в себя следующие блоки: входных и выходных данных; фаззификатор; систем нечеткого логического вывода; дефаззификатор.

Блок «Фаззификатор» ставит в соответствие числовым значениям переменных их функции принадлежности, которые являются эволюционно развитыми в связи с использованием генетических алгоритмов [19]. Этап определения функций принадлежности в любых нечетких моделях — один из самых сложных этапов, тем более в задачах высокого риска, связанного с возможной ошибкой экспертов. Поэтому изначально предполагается разбиение универсального множества, на котором определяется соответствующая характеристика, на равные отрезки по числу ее лингвистических значений. Генетический алгоритм обычно использует селекцию, скрещивание и мутацию. В данном случае совокупность функций принадлежности в виде единого генома эволюционирует, используя только мутации. Используемый алгоритм представляет собой $(\mu+\lambda)$ -эволюцию [20, 21]. При итерации такой эволюционной стратегии родители μ выбираются из текущей совокупности и используются для создания потомка λ . Из родителей и потомка $\mu+\lambda$ для следующего поколения сохраняется лучший родитель μ . Поскольку данная совокупность геномов функций принадлежности состоит из одного единого генома, то величина μ будет равна единице.

Для входных переменных предлагаются следующие лингвистические значения: (*VS*) — очень маленькое; (*S*) — маленькое; (*M*) — среднее; (*H*) — высокое; (*VH*) — очень высокое с функциями принадлежности:

$$\begin{aligned} \mu_{VS} &= (0; 0; 1; 0; 0,05); \\ \mu_S &= (0,15; 0,05; 0,25); \\ \mu_M &= (0,4; 0,25; 0,2); \\ \mu_H &= (0,6; 0,2; 0,2); \\ \mu_{VH} &= (0,8; 1; 0,2; 0). \end{aligned}$$

Параметры μ_{VS} и μ_S — абсциссы левой и правой вершин верхнего основания трапеции, которая является графиком функции принадлежности. Параметры μ_H и μ_{VH} — длины левого и правого крыльев трапеции. Если в скобках три параметра, то графиком функции принадлежности является треугольник, а первым параметром является абсцисса его вершины.

Для выходной переменной предлагаются следующие лингвистические значения: (*VL*) — очень низкая; (*L*) — низкая; (*M*) — умеренная; (*H*) — высокая; (*E*) — экстремальная с функциями принадлежности:

$$\begin{aligned} \mu_{VL} &= (0; 0,05; 0; 0,05); \\ \mu_L &= (0,1; 0,05; 0,25); \\ \mu_M &= (0,35; 0,25; 0,25); \\ \mu_H &= (0,6; 0,25; 0,25); \\ \mu_E &= (0,85; 1; 0,25; 0). \end{aligned}$$

После фаззификации данные поступают в систему нечеткого логического вывода. В этой системе содержатся $5^4 = 625$ нечетких правил типа: если код влажности очищенного горючего материала, код влажности лесной подстилки, код засушливого периода очень маленькие (*VS*), а индекс погоды, благоприятствующей возникновению лесных пожаров, — маленький (*S*), то категория пожароопасности — низкая (*L*). Правила представляются в следующем виде: $\{\{VS, VS, VS, S, L\}, \{VS, VS, S, S, M\}, \{VS, S, S, M, M\}, \{VS, S, M, H, H\}, \{S, S, M, H, H\}\}, \{\{VS, VS, S, S, L\}, \{VS, S, S, M, H\}, \{VS, S, M, M, H\}, \{S, M, M, M, H\}, \{S, M, M, H, H\}\}, \{\{VS, S, S, S, M\}, \{VS, S, M, M, H\}, \{S, M, M, M, H\}, \{S, M, M, H, H\}, \{M, M, H, VH, E\}\}, \{\{VS, S, S, M, M\}, \{S, S, M, H, H\}, \{S, M, M, H, H\}, \{M, H, H, H, H\}, \{H, H, H, VH, E\}\}, \{\{S, S, S, M, M\}, \{M, M, M, H, H\}, \{M, M, H, H, E\}, \{M, H, H, VH, E\}\}, \dots\}$.

В основе работы системы нечеткого логического вывода лежит алгоритм Мамдани [7], который позволяет определить функцию принадлежности выходной переменной. После этого найденная функция принадлежности поступает в дефаззификатор, где по известному правилу центра тяжести определяется ее числовое значение. Если, например, в дефаззификатор поступает функция $\mu(x)$, определенная на универсальном множестве U , то на выход из него выдается числовое значение

$$a = \frac{\int_U x\mu(x) dx}{\int_U \mu(x) dx}.$$

Полученное числовое значение принадлежит к одному из лингвистических значений выходной переменной Y — «категория пожароопасности» со степенью принадлежности $\beta > 0,5$, а к соседнему лингвистическому значению — со степенью принадлежности $1 - \beta$, что позволяет однозначно идентифицировать это числовое значение с лингвистическим значением со степенью принадлежности β , точнее, с одним из лингвистических значений: очень низкая, низкая, умеренная, высокая, экстремальная. Если числовое значение принадлежит двум соседним лингвистическим значениям с равными степенями принадлежности $\beta = 0,5$, то ситуация не позволяет однозначно идентифицировать это числовое значение с одним лингвистическим значением, поэтому с равными степенями уверенности указываются оба соседних лингвистических значения, а ситуация считается пограничной.

Предложенная нечеткая логическая модель оценки категории пожароопасности является частью многокомпонентной системы поддержки принятия решений для задач обнаружения и тушения лесных пожаров.

Выводы

Обоснован подход к решению задач лесопромышленного комплекса на основе аппарата мягких вычислений, не конкурирующий с классическим математическим аппаратом, а дополняющий и значительно расширяет его возможности в условиях неполной, неточной и нечеткой информации. Приводятся конкретные задачи, решения которых показывают преимущества аппарата мягких вычислений и их эффективность.

Построена нечеткая нейронная сеть для прогноза семеношения лесных культур в условиях техногенных ландшафтов. Создание семенной базы лесных пород, используемых для рекультивации техногенных ландшафтов, является крайне актуальной задачей.

Разработана модель рейтингового оценивания состояния зеленых насаждений в условиях больших городов, которая может с успехом применяться для программ сохранения этих насаждений и планов озеленения.

Описан нечеткий логический контроллер для контроля и прогноза поведения древесины в результате ее гидротермической обработки. Древесина имеет сложное строение, поэтому ее поведение в процессе гидротермической обработки достаточно сложно описать, используя матема-

тический аппарат на основе классической теории множеств. Однако это можно сделать, используя опыт экспертов и их знания, формализованные в виде системы правил, лежащей в основе нечеткого контроллера.

Для борьбы с лесными пожарами предлагается нечеткая модель для оценки категории пожароопасности. Предложенная модель как часть многокомпонентной системы поддержки принятия решений для задач обнаружения и тушения лесных пожаров позволит адекватно оценить реальную ситуацию и применить защитные меры в целях предотвращения экологических катастроф.

Разработанные модели характеризуются высокой степенью устойчивости результатов обработки полученных данных, которая достигается за счет корректного представления (формализации) разнородной информации, а также вследствие использования методов обработки данных, сочетающих в своей основе несколько теорий учета и обработки разных типов неопределенности. Интеллектуальность анализа этой информации достигается применением логических построений, формализующих мыслительную работу экспертов. Самонастройка выводов поддерживается самообучением системы на основе апостериорных статистических и экспертных данных.

Список литературы

- [1] Zadeh L.A. Fuzzy logic and approximate reasoning // *Synthese*, 1975, v. 80, pp. 407–428.
- [2] Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М.: Мир, 1976. 165 с.
- [3] Zadeh L.A. A note on Z-numbers // *Inf. Sci.*, 2011, no. 181, pp. 2923–2932.
- [4] Poleshchuk O., Komarov E. Expert Fuzzy Information Processing // *Studies in Fuzziness and Soft Computing*, 2011, v. 268, pp. 1–239.
- [5] Jang J.S. R. ANFIS: Adaptive-Network-based Fuzzy Inference Systems // *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 1993, v. 23, no. 3, pp. 665–685.
- [6] Jang J.S. R., Sun C.T. Neuro-Fuzzy and Soft Computing: A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence // *IEEE Transactions On Automatic Control*, 1997, v. 42, no. 10, pp. 1482–1484.
- [7] Lin C.T., Lee C.S. Neural Network based Fuzzy Logic Control and Decision System // *IEEE Transactions on Comput.*, 1991, v. 40, no. 12, pp. 1320–1336.
- [8] Poleshchuk O., Komarov E. A nonlinear hybrid fuzzy least-squares regression model // *Annual Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society, NAFIPS'2011*, 2011. DOI: 10.1109/NAFIPS.2011.5751909.
- [9] Poleshchuk O., Komarov E. The determination of rating points of objects with qualitative characteristics and their usage in decision making problems // *International J. of Computational and Mathematical Sciences*, 2009, v. 3, no. 7, pp. 360–364.
- [10] Мартыненко О.В., Карминов В.Н., Васильев С.Б. Мелиоративный эффект от внесения глауконитовых песков при лесной рекультивации отвалов Егорьевского месторождения фосфоритов // *Лесоведение*, 2017. № 5. С. 66–72.
- [11] Полещук О.М., Васильев С.Б. Нейронечеткая модель для прогноза семеношения лесных культур в условиях техногенных ландшафтов // *Лесной вестник. Forestry Bulletin*, 2018. Т. 22, № 1. С. 31–35.
- [12] Мозолевская Е.Г. Мониторинг состояния зеленых насаждений и городских лесов Москвы. Методы оценки состояния деревьев и насаждений // *Экология большого города*, 1997. Вып. 2. С. 16–59.
- [13] Расев А.И. Гидротермическая обработка и консервирование древесины : учеб. пособие. М.: Форум, 2010. 416 с.
- [14] Mazela B., Zakrzewski R., Kowiak, G.W., Cofta G., Bartkowiak M. Resistance of thermally modified wood to basidiomycetes // *Wood Technology*, 2004. v. 7 (1), pp. 253–262.
- [15] Poleshchuk O. M. Creation of linguistic scales for expert evaluation of parameters of complex objects based on semantic scopes // *International Russian Automation Conference (RusAutoCon -2018)*, 2018, pp. 1–6. URL: <http://rusautocon.org/programme2018-rus.html> (дата обращения 18.12.2018).
- [16] Taylor S.W., Alexander M.E. Science, technology, and human factors in fire danger rating // *International J. of Wildland Fire*, 2006, v. 15, pp. 121–135.
- [17] Bernabeu P., Vergara L., Bosh I., Igual J. A prediction/detection scheme for automatic forest fire surveillance // *Digital Signal Processing*, 2004, v. 14, pp. 481–507.
- [18] Satoh K., Weiguo S., Yang K.T. A study of forest fire danger prediction system // *Proceedings of the 15th International Workshop on Database and Expert Systems Applications*, 2004, pp. 1529–1534.
- [19] Bodenhofer U. Genetic algorithms: Theory and applications. Lecture notes third edition – 2003. URL: <http://www.flll.jku.at/teaching/Ga/GA-Notes.pdf>. (дата обращения 18.12.2018).
- [20] Mendes R.R., Voznika F.D., Freitas, A.A., Nievola J.C. Discovering fuzzy classification rules with genetic programming and co-evolution // *Proceedings of the 5th European Conference on Principles of Data Mining and Knowledge Discovery*, 2001, pp. 314–325.
- [21] Beyer H., Schwefel H. Evolution Strategies – A comprehensive introduction. *Natural computing // International Journal*, 2002, v. 1, no. 1, pp. 3–52.

Сведения об авторе

Полещук Ольга Митрофановна — д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой высшей математики и физики МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), poleshchuk@mgul.ac.ru

Поступила в редакцию 04.07.2019.

Принята к публикации 24.08.2019.

APPLICATION OF SOFT COMPUTING TO SOLVE ISSUES OF TIMBER INDUSTRY COMPLEX

O.M. Poleshchuk

BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia
poleshchuk@mgul.ac.ru

The paper substantiates the approach to solving problems of the timber industry complex on the basis of soft computing. Soft computing includes fuzzy set theory, fuzzy logic, fuzzy neural networks, and genetic algorithms. The proposed approach is objectively necessary because it complements the classical mathematical apparatus in the context of incomplete and inaccurate information and significantly expands its capabilities when taking into account the uncertainty of different types. The basic concepts are given, the efficiency of soft calculations for actual practical problems is shown. A fuzzy neural network was built to predict the seed production of forest crops in the conditions of man-made landscapes. A model of rating assessment of the state of plant species in urban environment has been developed. To control and predict the behavior of wood as a result of its hydrothermal processing, a fuzzy logic controller is described. To combat forest fires, a fuzzy logical model of fire risk assessment is proposed.

Keywords: soft computing, linguistic variable, fuzzy logic, fuzzy neural networks.

Suggested citation: Poleshchuk O.M. *Primenenie apparata myagkikh vychisleniy dlya resheniya zadach lesopromyshlennogo kompleksa* [Application of soft computing to solve issues of timber industry complex]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2019, vol. 23, no. 5, pp. 126–137. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-5-126-137

References

- [1] Zadeh L.A. Fuzzy logic and approximate reasoning. *Synthese*, 1975, v. 80, pp. 407–428.
- [2] Zade L.A. *Ponyatie lingvisticheskoy peremennoy i ego primeneniye k prinyatiyu priblizitel'nykh resheniy* [Concept of a linguistic variable and its application to adoption of approximate decisions]. Moscow: Mir, 1976, 165 p.
- [3] Zadeh L.A. A note on Z-numbers. *Inf. Sci.*, 2011, no. 181, pp. 2923–2932.
- [4] Poleshchuk O., Komarov E. Expert Fuzzy Information Processing. *Studies in Fuzziness and Soft Computing*, 2011, v. 268, pp. 1–239.
- [5] Jang J.S. R. ANFIS: Adaptive-Neural-network-based Fuzzy Inference Systems. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 1993, v. 23, no. 3, pp. 665–685.
- [6] Jang J.S. R., Sun C.T. Neuro-Fuzzy and Soft Computing: A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 1997, v. 42, no. 10, pp. 1482–1484.
- [7] Lin C.T., Lee C.S. Neural Network based Fuzzy Logic Control and Decision System. *IEEE Transactions on Comput*, 1991, v. 40, no. 12, pp. 1320–1336.
- [8] Poleshchuk O., Komarov E. A nonlinear hybrid fuzzy least-squares regression model. *Annual Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society, NAFIPS'2011*, 2011. DOI: 10.1109/NAFIPS.2011.5751909.
- [9] Poleshchuk O., Komarov E. The determination of rating points of objects with qualitative characteristics and their usage in decision making problems. *International J. of Computational and Mathematical Sciences*, 2009, v. 3, no. 7, pp. 360–364.
- [10] Martynenko O.V., Karminov V.N., Vasil'ev S.B. *Meliorativnyy effekt ot vneseniya glaukonitovykh peskov pri lesnoy rekul'tivatsii otvalov Egor'evskogo mestorozhdeniya fosforitov* [The ameliorative effect of the introduction of glauconitic sands in the forest reclamation dumps Egor'evskogo phosphate deposits]. *Lesovedenie*, 2017, no. 5, pp. 66–72.
- [11] Poleshchuk O.M., Vasilyev S.B. Neuroneous model for forecasting seed crops of forest crops in conditions of man-made landscapes [Neuroncellular model for forecasting seed crops of forest crops in conditions of man-made landscapes]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, v. 22, no. 1, pp. 31–35.
- [12] Mozolevskaya E.G. *Monitoring sostoyaniya zelenykh nasazhdeniy i gorodskikh lesov Moskvy. Metody otsenki sostoyaniya derev'ev i nasazhdeniy* [Monitoring the state of greenery and urban forests of Moscow. Methods for assessing the state of trees and plantations]. *Ekologiya bol'shogo goroda* [Ecology of a big city], 1997, pp. 16–59.
- [13] Rasev A.I. *Gidrotermicheskaya obrabotka i konservirovanie drevesiny* [Hydrothermal treatment and wood canning]. Moscow: Forum, 2010, 416 p.
- [14] Mazela B., Zakrzewski R., Kowiak, G.W., Cofta G., Bartkowiak M. Resistance of thermally modified wood to basidiomycetes. *Wood Technology*, 2004, v. 7 (1), pp. 253–262.
- [15] Poleshchuk O.M. Creation of linguistic scales for expert evaluation of parameters of complex objects based on semantic scopes. *International Russian Automation Conference (RusAutoCon – 2018)*, 2018, pp. 1–6. Available at: <http://rusautocon.org/programme2018-rus.html> (accessed 18.12.2018).
- [16] Taylor S.W., Alexander M.E. Science, technology, and human factors in fire danger rating. *International J. of Wildland Fire*, 2006, v. 15, pp. 121–135.
- [17] Bernabeu P., Vergara L., Bosh I., Igual J. A prediction/detection scheme for automatic forest fire surveillance. *Digital Signal Processing*, 2004, v. 14, pp. 481–507.
- [18] Satoh K., Weiguo S., Yang K.T. A study of forest fire danger prediction system. *Proceedings of the 15th International Workshop on Database and Expert Systems Applications*, 2004, pp. 1529–1534.
- [19] Bodenhofer U. Genetic algorithms: Theory and applications. *Lecture notes third edition – 2003*. Available at: <http://www.flll.jku.at/teaching/Ga/GA-Notes.pdf>. (accessed 18.12.2018).
- [20] Mendes R.R., Voznika F.D., Freitas, A.A., Nievola J.C. Discovering fuzzy classification rules with genetic programming and co-evolution. *Proceedings of the 5th European Conference on Principles of Data Mining and Knowledge Discovery*, 2001, pp. 314–325.
- [21] Beyer H., Schwefel H. Evolution Strategies – A comprehensive introduction. *Natural computing. International Journal*, 2002, v. 1, no. 1, pp. 3–52.

Author's information

Poleshchuk Ol'ga Mitrofanovna — Dr. Sci. (Tech.), Professor, Head of Higher Mathematics and Physics Department of BMSTU (Mytishchi branch), poleshchuk@mgul.ac.ru

Received 04.07.2019.

Accepted for publication 24.08.2019.

ВЛИЯНИЕ ВНЕШНЕЙ ВОЗДЕЙСТВУЮЩЕЙ ВИБРАЦИИ НА МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ-АКСЕЛЕРОМЕТРЫ

А.С. Афанасьев¹, В.М. Полушкин¹, В.А. Соболев¹,
В.М. Суслов¹, Ю.Т. Котов², Т.Д. Знаменская²

¹Филиал ФГБУ «46ЦНИИ» Минобороны России, 141006, Московская обл., г. Мытищи, ул. Комарова, 13

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

hit-el@ya.ru

Рассмотрено влияние внешней воздействующей вибрации, действующей по оси чувствительности микроэлектромеханического акселерометра. Приведена функциональная схема устройства контроля дополнительной вибрационной погрешности. Проведена настройка угломерного устройства в нулевое положение, что позволило максимально уменьшить угол расхождения между плоскостью чувствительного элемента акселерометра и плоскостью стола стенда. Акселерометр был размещен таким образом, чтобы направление его оси чувствительности совпало с направлением ускорения вибрации. Задаются требуемые значения частоты и ускорения вибрации. Установлено, что контроль дополнительной вибрационной погрешности микроэлектромеханических систем-акселерометров в одной точке измерения недостаточен, поскольку ее максимальное значение может оказаться в любой пространственной ориентации (показано на примере диапазона ± 1 g). Разработаны метод контроля виброустойчивости микроэлектромеханических преобразователей линейного ускорения и его алгоритм на основе законов распределения вероятностей их статистических характеристик в нормальных условиях и в условиях воздействия внешних факторов. Обоснована организация процессов измерения показателей, их первичной и статистической обработки, последующего расчета и оценки имеющих существенное значение дополнительных вибрационных погрешностей. Представлена зависимость дополнительной вибрационной погрешности от пространственной ориентации микроэлектромеханических систем-акселерометров относительно измеряемого ускорения. Исследована зависимость дополнительной вибрационной погрешности от частоты воздействующей вибрации. Показано, что дополнительная вибрационная погрешность обратно пропорциональна частоте внешней воздействующей вибрации.

Ключевые слова: акселерометр, внешняя вибрация, частота, виброустойчивость

Ссылка для цитирования: Афанасьев А.С., Полушкин В.М., Соболев В.А., Суслов В.М., Котов Ю.Т., Знаменская Т.Д. Влияние внешней воздействующей вибрации на микроэлектромеханические системы-акселерометры // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2019. Т. 23. № 5. С. 138–143.

DOI: 10.18698/2542-1468-2019-5-138-143

Этапы разработки и производства отечественных микроэлектромеханических систем-акселерометров (далее акселерометров) сопряжено с решением ряда задач. Одной из главных является задача оценки точностных возможностей этих изделий в процессе эксплуатации. Это связано в первую очередь с отсутствием до настоящего времени возможности определения и достоверного подтверждения эксплуатационных требований к вновь разрабатываемым изделиям в части их стойкости к воздействиям механических внешних факторов.

Цель работы

Работа посвящена вопросам поиска способов анализа и оценки реакции акселерометров на воздействие механических внешних факторов для получения достоверных результатов по их техническим характеристикам, необходимость в которых продиктована тем, что показатель устойчивости к этим воздействиям, исходя из условий и практики применения акселерометров, является одним из наиболее важных для их применения потребителями — разработчиками систем военной техники [1–3].

Материалы и методы

Обеспечение заданных параметров демпфирования колебаний механической системы акселерометров является одной из задач, которую следует решить при их разработке [4–6]. Тем не менее, несмотря на принимаемые меры, механические воздействия на технические характеристики акселерометров наиболее критичны.

Требования к влиянию внешних воздействующих факторов на акселерометры предъявляются в объеме унифицированных групп исполнения в соответствии со стандартом [7], исходя из того, что по функциональным и конструктивно-технологическим показателям эти изделия должны быть отнесены к категории комплектующих электрорадиоизделий, включенных в сферу распространения комплекса государственных военных стандартов «Климат-7». В соответствии с областями применения акселерометров, согласно требованиям, значение вибрационной нагрузки может достигать 2000 Гц при ускорении свободного падения 20 g, при многократных ударах — до 150 g и одиночных — до 3000 g, температура воздействий может составлять 100...125 °С.

При обработке требований по стойкости акселерометров к внешним воздействующим факторам, исходя из опыта их разработчиков, важно принять во внимание, что вследствие наличия в них микромеханических частей они чувствительны к механическим и температурным воздействиям.

В соответствии с ГОСТ РВ 20.57.416–98 [8] стойкость к воздействию конкретного внешнего фактора — это способность изделия выполнять свои функции и сохранять параметры в пределах установленных норм во время и после воздействия на него этого внешнего фактора в течение всего срока службы, т. е. оно обладает такими свойствами как устойчивость и прочность.

Испытания при воздействии механических факторов следует проводить в трех взаимно перпендикулярных направлениях по отношению к оси изделия. Однако если известно наиболее опасное и критичное (для параметров изделия) направление воздействия, испытания проводят только в этом направлении.

Для проверки наличия у изделия свойства устойчивости к механическим воздействиям рекомендуется выбирать параметры, по изменению которых можно судить о вибро- или ударной устойчивости в целом (например, уровень шумов, искажение выходного сигнала или изменение его величины, целостность электроцепи и т. д.).

Тем не менее вследствие сложности решения вопросов контроля виброустойчивости акселерометров [9–11] в процессе воздействия факторов разработчики, как правило, оценивают их стойкость только на прочность [12], избегая при испытаниях наиболее опасное направление воздействия, каковым для них является направление вдоль оси чувствительности. Если когда контроль устойчивости изделия к воздействию все же проводится, то по его результатам нет возможности достоверно оценить способность изделия выполнять свои функции в этих условиях [13–23].

Ниже приведены несколько примеров по выходу из сложившейся ситуации, исходя из опыта ведущих отечественных разработчиков акселерометров [13].

Как правило, часть разработчиков рекомендует испытывать акселерометры на воздействие механических факторов по одной или двум осям, кроме оси чувствительности, т. е. исключая наиболее опасное направление, а контроль параметров проводить после испытания, т. е. только на вибропрочность. Другие разработчики акселерометров также рассматривают необходимость испытаний только на вибропрочность, при этом не контролируя изделие в процессе воздействия внешнего фактора [13].

При контроле на виброустойчивость акселерометры испытывают в условиях широкополосной вибрации заданного диапазона. Изделие в нормальных условиях располагают так, чтобы его ось чувствительности была направлена вдоль ускорения свободного падения со значением 1 g, а в условиях испытания — совпадала с направлением вибрации. Акселерометры испытывают в условиях вибрации во включенном состоянии в течение 60 с — через каждые 20 с вольтметром постоянного напряжения измеряют выходной сигнал. Акселерометр считают выдержавшим испытание на виброустойчивость, если его дополнительная погрешность при действии широкополосной вибрации будет не более 1 %. Однако максимальная дополнительная погрешность может оказаться в других пространственных положениях и будет превышать измеренную дополнительную погрешность от вибрации в этом режиме в несколько раз [14].

В реальных условиях эксплуатации акселерометров, например в аппаратуре системы навигации беспилотного летательного аппарата, на них по всем направлениям постоянно воздействует внешняя вибрация в широком диапазоне частот, которая, как установлено [15], приводит к появлению дополнительной погрешности, зависящей от пространственной ориентации и влияющей на точность выдаваемой навигационной информации. Рост амплитуды внешней воздействующей вибрации приводит к росту дополнительной погрешности от нее.

В ходе исследований была поставлена задача: установить зависимость дополнительной погрешности от частоты вибрации.

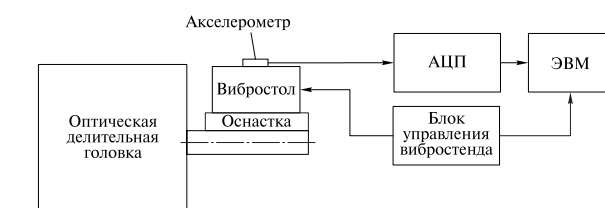


Рис. 1. Устройство контроля дополнительной погрешности акселерометров

Fig. 1. Control device for additional error of accelerometers

Устройство контроля, с помощью которого проводились экспериментальные исследования, приведено на рис. 1. Оборудование стандартное, промышленного изготовления. Дополнительно изготовлена оснастка для крепления вибростола на вал оптической делительной головки.

Устройство работает следующим образом. В зависимости от того, какой выходной сигнал имеет испытуемый акселерометр, — цифровой или аналоговый, его выход соединяется с соответствующим входом преобразователя (на рис. 1 представлен вариант для аналогового выхода).

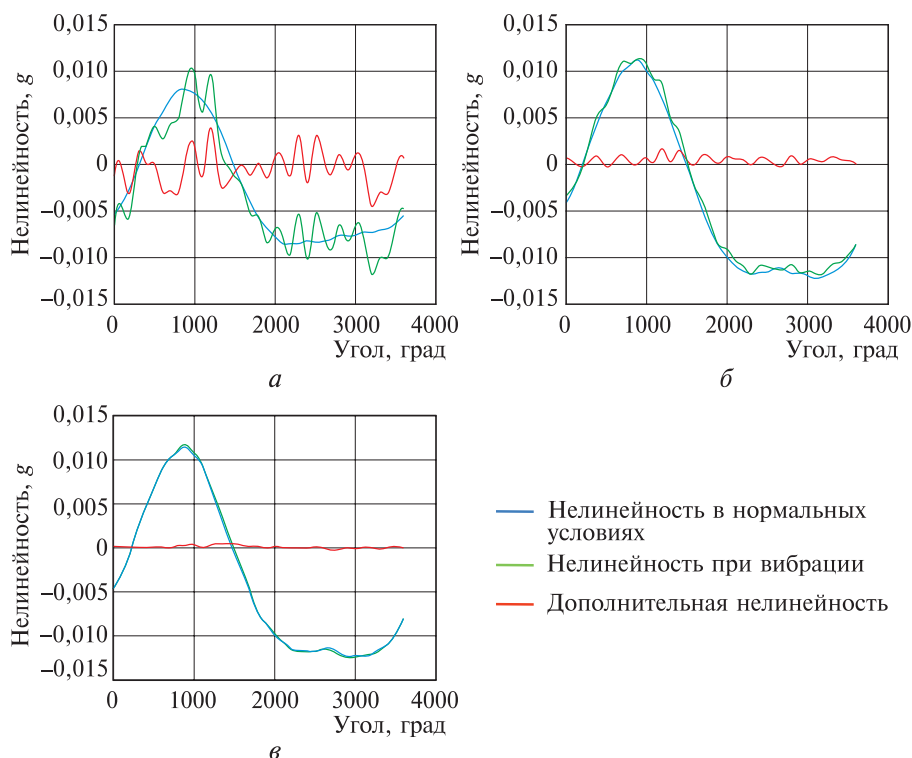


Рис. 2. Зависимость дополнительной погрешности от частоты внешней воздействующей вибрации: а — 50 Гц; б — 100 Гц; в — 400 Гц

Fig. 2. The dependence of the additional error on the frequency of external vibration: а — 50 Гц; б — 100 Гц; в — 400 Гц

Сначала выполняется настройка устройства. Угломерное устройство выставляется в нулевое положение. С помощью регулировочных винтов и уровня плоскость стола вибрационного стенда устанавливается в горизонтальное положение. Это позволяет максимально уменьшить угол расхождения между плоскостью чувствительного элемента акселерометра и плоскостью стола стенда. Акселерометр размещается таким образом, чтобы его ось чувствительности по направлению совпадала с направлением ускорения вибрации. Включается питание всех составных частей устройства контроля. Вибростенд настраивается на нужную частоту и амплитуду, создавая тем самым требуемое значение частоты и ускорения вибрации. После настройки вибрация отключается.

Подается питание на акселерометр и контролируется его выходной сигнал в нормальных условиях. Включается вибрация и проводится измерение уровня выходного сигнала акселерометра при воздействии вибрации. В результате получают первое значение передаточной характеристики как в нормальных условиях, так и при воздействии вибрации.

Затем вал угломерного устройства разворачивается на требуемый угол. Согласно программе и методике испытаний требуется разворот через каждые 10 град, для получения массива из 36 зна-

чений передаточной характеристики. Контроль выходного сигнала акселерометра в нормальных условиях и при воздействии вибрации проводится при каждом выставленном угле поворота вала угломерного устройства.

Результаты и обсуждение

В результате проведенных исследований при воздействии внешней вибрации с частотами 50, 100 и 400 Гц было выявлено, что воздействие вибрации низкой частоты оказывает существенно большее влияние на функциональные параметры, чем вибрация более высоких частот, а на частоте 400 Гц изменения практически отсутствуют. Также установлено, что при воздействии вибрации частотой 50 Гц имеют место изменения видов законов распределения вероятностей нелинейностей передаточной характеристики и их параметров (диапазона, оценок математического ожидания и среднего квадратического отклонения) в пределах от 15 до 30 %.

Для ускорения и упрощения метода в случае, если не поставлена задача измерения непосредственно передаточных характеристик испытуемых изделий, а только дополнительной погрешности от внешней воздействующей вибрации, возможно установление изделия на вибростол без

начальной настройке. В этом случае погрешность рассчитывается по выражению

$$\Delta_{\text{доп}} = \Delta_{\text{н}} - \Delta_{\text{в}},$$

где $\Delta_{\text{доп}}$ — дополнительная погрешность от вибрации;

$\Delta_{\text{н}}$ — суммарная погрешность в нормальных условиях;

$\Delta_{\text{в}}$ — суммарная погрешность в условиях вибрации;

$\Delta_{\text{н}}$ и $\Delta_{\text{в}}$ включают в себя и погрешность начальной выставки, которая при расчетах стремится к нулю.

Обработка результатов испытаний, проведенных описанным методом, представлена в работе [15] (рис. 2).

С повышением частоты внешней воздействующей вибрации дополнительная нелинейность от ее воздействия снижается.

Графики построены в среде MATLAB с помощью интерполяции кубическими сплайнами для сглаживания их линий посредством плавного перехода от одного значения к другому.

Выводы

Установлено, что с ростом частоты внешней воздействующей вибрации дополнительная погрешность от ее влияния уменьшается при отсутствии резонансных частот в исследуемом диапазоне.

На объектах с диапазоном внешней воздействующей вибрации до 400 Гц необходимо применять меры защиты от вибрации для аппаратуры, где применяются акселерометры для сохранения достаточной точности выдаваемой с них информации.

Список литературы

- [1] Мезенцев А.П., Доронин В.П., Новиков Л.З., Харламов С.А., Неаполитанский А.С., Логинов Б.А. Основные проблемы создания измерительных блоков на базе микромеханических гироскопов и акселерометров // Гироскопия и навигация, 1997. № 1. С. 7–14.
- [2] Токарев М.Ф., Талицкий Е.Н., Фролов В.А. Механические воздействия и защита радиоэлектронной аппаратуры. М.: Радио и связь, 1984. 220 с.
- [3] Вавилов В.Д., Поздеев В.И., Шеянов В.Н. О аэродинамическом демпфировании // Труды НИТИ, 1986. Вып. 2. С. 89–93.
- [4] Тимошенко С.П., Гудьер Д. Теория упругости. М.: Наука, 1975. 575 с.
- [5] Распопов В.Я. Микромеханические приборы. Тула: Тульский гос. ун-т, 2002. 392 с.
- [6] Тимофеев В.Н., Погалов А.И., Угольников С.В. Техническая механика микросистем. М.: МИЭТ, 2006. 187 с.
- [7] ГОСТ РВ 20.39.414.1–97 Комплексная система общих технических требований. Изделия электронной техники, квантовой электроники и электротехнические военного назначения. Классификация по условиям применения и требования стойкости к внешним воздействующим факторам. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200016473> (дата обращения 18.12.2018).
- [8] ГОСТ РВ 20.57.416–98 Комплексная система контроля качества. Изделия электронной техники, квантовой электроники и электротехнические военного назначения. Методы испытаний. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200016473> (дата обращения 18.12.2018).
- [9] Полушкин В.М., Сирыченко Н.А. Вопросы контроля функциональных параметров микроэлектромеханических преобразователей параметров движения // Научно-технический сборник. Мытищи: 22ЦНИИ Минобороны России, 2008. № 60. С. 23–28.
- [10] Домрачев В.Г. Точность цифровых преобразователей угла при нестационарном воздействии эксплуатационных факторов // Метрология, 1983. № 1. С. 3–7.
- [11] Домрачев В.Г. О дополнительной погрешности цифровых преобразователей угла в условиях быстромменяющихся эксплуатационных факторов // Метрология, 1984. № 11. С. 3–7.
- [12] Зотов С.А., Анчутин С.А., Морозова Е.С. Принцип испытаний микромеханических акселерометров серии АРК. Сб. трудов / под ред. С.П. Тимошенко. М.: МИЭТ, 2007. С. 106–111.
- [13] Полушкин В.М., Сирыченко Н.А. Анализ и сравнительная оценка существующих методов контроля микроэлектромеханических преобразователей параметров движения. // Научно-технический сборник. Мытищи: 22ЦНИИ Минобороны России, 2009. № 61. С. 15–18.
- [14] Афанасьев А.С., Болдырев М.А., Воронцов П.С., Сулов В.М., Котов Ю.Т., Вороницын В.К., Камусин А.А. Система контроля и управления высокоомощных литий-ионных аккумуляторных батарей // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал, 2019. № 1 (367). С. 161–170.
- [15] Афанасьев А.С., Комаров Е.Г., Полушкин В.М. Алгоритмическое обеспечение контроля виброустойчивости микроэлектромеханических преобразователей линейных ускорений // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2013. № 3(95). С. 181–184.
- [16] Торгонский Л.А. Проектирование интегральных микросхем и микропроцессоров. Томск: ТУСУР, 2011. Раздел 1. 254 с.
- [17] Коледов Л.А. Технология и конструкции микросхем, микропроцессоров и микросборок. М.: Радио и связь, 1989. 400 с.
- [18] Антошина И.В., Котов Ю.Т. Микропроцессоры и микропроцессорные системы (аналитический обзор). М.: МГУЛ, 2005. 432 с.
- [19] Солонина А., Улахович Д., Яковлев Л. Алгоритмы и процессоры цифровой обработки сигналов. СПб.: БХВ-Петербург, 2009. 464 с.
- [20] Conway B.E. Electrochemical Supercapacitors. Scientific Fundamentals and Technological Applications. N.-Y.: Springer, 1999, 736 p.
- [21] Galizzioli D., Tantardini F., Trasatti S. Ruthenium Dioxide: A New Electrode Material. 1. Behavior in Acid Solutions of Inert Electrolytes // J. Appl. Electrochem, 1974, v. 4, p. 57.
- [22] Бобрикова И.Г. Введение в электрохимические технологии. Новочеркасск: Южно-Российский государственный политехнический университет, 2017. 184 с.
- [23] Suematzu S., Shkolnik N. Advanced Supercapacitors Using New Electroactive Polymers // Advanced Capacitor World Summit 2005. USA, San Diego CA, 2005, pp. 45–54.

Сведения об авторах

Афанасьев Алексей Сергеевич — канд. техн. наук, зам. начальника управления — начальник отдела филиала ФГБУ «46ЦНИИ» Минобороны России, hit-el@ya.ru

Полушкин Вячеслав Михайлович — канд. техн. наук, зам. начальника отдела — начальник лаборатории филиала ФГБУ «46ЦНИИ» Минобороны России, hit-el@ya.ru

Соболев Владимир Алексеевич — канд. техн. наук, ст. науч. сотр. филиала ФГБУ «46ЦНИИ» Минобороны России, hit-el@ya.ru

Суслов Виталий Михайлович — канд. техн. наук, вед. науч. сотр. филиала ФГБУ «46ЦНИИ» Минобороны России, hit-el@ya.ru

Котов Юрий Терентьевич — д-р техн. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), kotov46@inbox.ru

Знаменская Татьяна Дмитриевна — канд. техн. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), tzn957@gmail.com

Поступила в редакцию 29.08.2018.

Принята к публикации 24.06.2019.

INFLUENCE OF EXTERNAL VIBRATION ON MICROELECTROMECHANICAL CONVERTERS OF LINEAR ACCELERATION

A.S. Afanasev¹, V.M. Polushkin¹, V.A. Sobolev¹,
V.M. Suslov¹, Y.T. Kotov², T.D. Znamenskaya²

¹Branch FGBU «46TsNII» Ministry of Defense of Russia, 13, Komarova, 141006, Mytishchi, Moscow reg., Russia

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

hit-el@ya.ru

The influence of external influencing vibration acting along the sensitivity axis of a microelectromechanical accelerometer (MEMS-accelerometer) is presented. The functional diagram of the device for monitoring the additional vibration error is given. Before testing, the adjustment is carried out, the goniometer is placed in the zero position, which allows to minimize the angle of divergence between the plane of the sensor element of the accelerometer and the table plane of the stand. Accelerometer is placed in such a way that its axis of sensitivity in direction coincides with the direction of acceleration of vibration. The required values of frequency and acceleration of vibration are set. It is established that monitoring of the additional vibration error of MEMS-accelerometers at one point of measurement is insufficient, its maximum value can be in any spatial orientation (shown in the range ± 1 g example). As part of the research, a method for controlling the vibration resistance of microelectromechanical linear acceleration converters and an algorithm for controlling the vibration resistance of microelectromechanical linear acceleration converters are developed based on the laws of probability distribution of their statistical characteristics under normal conditions and under the influence of external factors. The process of monitoring the functional characteristics of MEMS-accelerometers is rather complicated, especially under conditions of vibration loads, therefore it is very important to organize the measurement process, the initial processing of the measured data, the statistical processing, the subsequent calculation and the estimation of additional errors of interest that are of concern to us. It is shown that the additional vibration error depends on the spatial orientation of the MEMS-accelerometer relative to the measured acceleration. The dependence of the additional error from affecting the vibration frequency, it is shown that the additional vibration error is inversely proportional to the frequency of the external vibration.

Keywords: the microelectromechanical converter of linear acceleration, external vibration, frequency, vibrating stability

Suggested citation: Afanasev A.S., Polushkin V.M., Sobolev V.A., Suslov V.M., Kotov Y.T., Znamenskaya T.D. *Vliyaniye vneshney vozdeystvuyushchey vibratsii na mikroelektromekhanicheskie sistemy-akselerometry* [Influence of external vibration on microelectromechanical converters of linear acceleration]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2019, vol. 23, no. 5, pp. 138–143. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-5-138-143

References

- [1] Mezentsev A.P., Doronin V.P., Novikov L.Z., Kharlamov S.A., Neapolitanskiy A.S., Loginov B.A. *Osnovnyye problemy sozdaniya izmeritel'nykh blokov na baze mikromekhanicheskikh giroskopov i akselerometrov* [The main problems of creating measuring units based on micromechanical gyroscopes and accelerometers] *Giroskopiya i navigatsiya* [Gyroscopy and navigation], 1997, no. 1, pp. 7–14.
- [2] Tokarev M.F., Talitskiy E.N., Frolov V.A. *Mekhanicheskie vozdeystviya i zashchita radioelektronnoy apparatury* [Mechanical influences and protection of electronic equipment]. Moscow: Radio i svyaz' [Radio and communication], 1984, 220 p.
- [3] Vavilov V.D., Pozdeev V.I., Sheyanov V.N. *O aerodinamicheskoy dempfirovaniy* [On aerodynamic damping] *Trudy NITI* [Proceedings NITI], 1986, iss. 2, pp. 89–93.
- [4] Timoshenkov S.P., Gud'er D. *Teoriya uprugosti* [Theory of elasticity]. Moscow: Nauka, 1975, 575 p.
- [5] Raspopov V.Ya. *Mikromekhanicheskie pribory* [Micromechanical devices]. Tula: Tula State Univ., 2002, 392 p.

- [6] Timofeev V.N., Pogalov A.I., Ugol'nikov S.V. *Tekhnicheskaya mekhanika mikrosistem* [Technical mechanics of microsystems]. Moscow: MIET, 2006, 187 p.
- [7] *GOST RV 20.39.414.1–97 Kompleksnaya sistema obshchikh tekhnicheskikh trebovaniy. Izdelya elektronnoy tekhniki, kvantovoy elektroniki i elektrotekhnicheskoy voennogo naznacheniya. Klassifikatsiya po usloviyam primeneniya i trebovaniya stoykosti k vneshnim vozdeystviyushchim faktoram* [GOST RV 20.39.414.1–97 A comprehensive system of general technical requirements. Products of electronic engineering, quantum electronics and electrical engineering for military purposes. Classification under the terms of use and requirements of resistance to external influencing factors]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200016473> (accessed 18.12.2018).
- [8] *GOST RV 20.57.416–98 Kompleksnaya sistema kontrolya kachestva. Izdelya elektronnoy tekhniki, kvantovoy elektroniki i elektrotekhnicheskoy voennogo naznacheniya. Metody ispytaniy* [GOST RV 20.57.416–98 Integrated quality control system. Products of electronic engineering, quantum electronics and electrical engineering for military purposes. Test methods]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200016473> (accessed 18.12.2018).
- [9] Polushkin V.M., Siryachenko N.A. *Voprosy kontrolya funktsional'nykh parametrov mikroelektromekhanicheskikh preobrazovateley parametrov dvizheniya* [Issues of control of functional parameters of microelectromechanical transducers of motion parameters] Nauchno-tekhnicheskii sbornik [Scientific and technical collection]. Mytishchi: 22 TsNII of the Ministry of Defense of Russia, 2008, no. 60, pp. 23–28.
- [10] Domrachev V.G. *Tochnost' tsifrovyykh preobrazovateley ugla pri nestatsionarnom vozdeystvii ekspluatatsionnykh faktorov* [The accuracy of digital angle transducers with unsteady exposure to operational factors] Metrologiya [Metrology], 1983, no. 1, pp. 3–7.
- [11] Domrachev V.G. *O dopolnitel'noy pogreshnosti tsifrovyykh preobrazovateley ugla v usloviyakh bystromenyayushchikhsya ekspluatatsionnykh faktorov* [About additional error of digital angle converters in conditions of rapidly changing operational factors] Metrologiya [Metrology], 1984, no. 11, pp. 3–7.
- [12] Zotov S.A., Anchutin S.A., Morozova E.S. *Printsip ispytaniy mikromekhanicheskikh akselerometrov serii ARK* [The test principle of micromechanical accelerometers of the ARK series] Sb. trudov [Collected Works]. Ed. S.P. Timoshenkov. Moscow: MIET, 2007, pp. 106–111.
- [13] Polushkin V.M., Siryachenko N.A. *Analiz i sravnitel'naya otsenka sushchestvuyushchikh metodov kontrolya mikroelektromekhanicheskikh preobrazovateley parametrov dvizheniya* [Analysis and comparative evaluation of existing methods for monitoring microelectromechanical transducers of motion parameters] Nauchno-tekhnicheskii sbornik [Scientific and technical collection]. Mytishchi: 22 TsNII of the Ministry of Defense of Russia, 2009, no. 61, pp. 15–18.
- [14] Afanas'ev A.S., Boldyrev M.A., Vorontsov P.S., Suslov V.M., Kotov Yu.T., Voronitsyn V.K., Kamusin A.A. *Sistema kontrolya i upravleniya vysokomoshchnykh lity-ionnykh akkumulyatornykh batarey* [Monitoring system and control of high-power lithium-ion batteries]. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal [News of higher educational institutions. Forest Journal], 2019, no. 1 (367), pp. 161–170.
- [15] Afanas'ev A.S., Komarov E.G., Polushkin V.M. *Algoritmicheskoe obespechenie kontrolya vibroustoychivosti mikroelektromekhanicheskikh preobrazovateley lineynykh uskoreniy* [Algorithmic support of the vibration resistance control of microelectromechanical transducers of linear accelerations] Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin, 2013, no. 3 (95), pp. 181–184.
- [16] Torgonskiy L.A. *Proektirovanie integral'nykh mikroskhem i mikroprotssessorov* [Designing integrated circuits and microprocessors]. Tomsk: TUSUR, 2011, Section 1, 254 p.
- [17] Koledov L.A. *Tekhnologiya i konstruksii mikroskhem, mikroprotssessorov i mikrosborok* [Technology and design of microcircuits, microprocessors and micro assemblies]. Moscow: Radio i svyaz', 1989, 400 p.
- [18] Antoshina I.V., Kotov Yu.T. *Mikroprotssessory i mikroprotssessornye sistemy (analiticheskiy obzor)* [Microprocessors and microprocessor systems (analytical review)]. Moscow: MGUL, 2005, 432 p.
- [19] Solonina A., Ulakhovich D., Yakovlev L. *Algoritmy i protssessory tsifrovoy obrabotki signalov* [Algorithms and processors of digital signal processing]. St. Petersburg: BHV-Petersburg, 2009, 464 p.
- [20] Bobrikova I.G. *Vvedenie v elektrokhimicheskie tekhnologii* [Introduction to electrochemical technology]. Novocherkassk: Yuzhno-Rossiyskiy gosudarstvennyy politekhnicheskii universitet [South Russian State Polytechnic University], 2017, 184 p.
- [21] Conway B.E. *Electrochemical Supercapacitors. Scientific Fundamentals and Technological Applications*. N.-Y.: Springer, 1999, 736 p.
- [22] Galizzioli D., Tantardini F., Trasatti S. *Ruthenium Dioxide: A New Electrode Material. 1. Behavior in Acid Solutions of Inert Electrolytes*. J. Appl. Electrochem, 1974, v. 4, p. 57.
- [23] Suematzu S., Shkolnik N. *Advanced Supercapacitors Using New Electroactive Polymers*. Advanced Capacitor World Summit 2005. USA, San Diego CA, 2005, pp. 45–54.

Authors' information

Afanasyev Aleksey Sergeevich — Cand. Sci. (Tech.), Deputy Head of Department – Head of Department of the branch FGBU «46CNII» of the Ministry of Defense of Russia, hit-el@ya.ru

Polushkin Vyacheslav Mikhailovich — Cand. Sci. (Tech.), Deputy Head of Department — Head of the laboratory of the branch of the FGBU «46CNII» of the Ministry of Defense of Russia, hit-el@ya.ru

Sobolev Vladimir Alekseevich — Cand. Sci. (Tech.), Senior Researcher of the branch of the FSBI «46CNII» of the Ministry of Defense of Russia, hit-el@ya.ru

Suslov Vitaly Mikhailovich — Cand. Sci. (Tech.), Leading Researcher of the Branch of the FSBI «46CNII» of the Ministry of Defense of Russia, hit-el@ya.ru

Kotov Yuri Terent'evich — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), kotov46@inbox.ru

Znamenskaya Tat'yana Dmitrievna — Cand. Sci. (Tech.), Associated Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), tzn957@gmail.com

Received 29.08.2018.

Accepted for publication 24.06.2019.



ПРОГРАММА ПРОДВИЖЕНИЯ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА РОССИИ

ПРЕСС-РЕЛИЗ

Россия больше не будет вывозить круглый лес: в рамках ВЭФ состоялась сессия, посвященная развитию лесной отрасли

Современные вызовы и решения для лесной промышленности региона обсудили в первый день работы V Восточного экономического форума в рамках панельной дискуссии «От сырья к глубокой переработке: как будет развиваться лесная отрасль Дальнего Востока».

2018 год по оценке аналитиков стал пиковым для макроэкономического цикла в мировой лесной индустрии. Спрос на практически все виды лесной продукции в рамках глобального рынка был растущим и в объемах, и в ценах. Объем российского экспорта лесной продукции в 2018 г. составил 14 млрд. долларов, увеличившись по сравнению с 2017 г. почти на 19 %.

Китай, Япония, Индия — это ключевые регионы поставок лесных товаров с Дальнего Востока. Развитие лесного комплекса России на ближайшие 3–5 лет будет выстраиваться с учетом ситуации, складывающейся сейчас в Азиатско-Тихоокеанском регионе.

В настоящее время в регионе идут сложные трансформационные процессы перестройки всей системы работы лесной отрасли, направленные на снижение экспорта круглого леса, с одной стороны, и на увеличение добавленной стоимости и глубины переработки древесины — с другой.

В 2018 г. Минпромторгом России была введена тарифная квота на вывоз круглого леса дальневосточных пород древесины (ели аянской, пихты белокорой и лиственницы даурской) исключительно для компаний, которые создали перерабатывающие мощности, а также осуществляли экспорт продукции лесопереработки. Для таких предприятий предусмотрено снижение ставки вывозной таможенной пошлины с 25 % до 6,5 %. Для остальных сегодня предоставлена возможность создать лесоперерабатывающие мощности: ведомством предусмотрен отлагательный поэтапный ввод повышающих ставок вне квот до 80 % к 2021 г. Результатом введения вышеупомянутых мер стало неуклонное снижение экспорта необработанной древесины.

«Уже в течение первого полугодия 2019 г. мы наблюдаем снижение экспорта необработанных лесоматериалов с территории Дальнего Востока на 24,9 % по сравнению с аналогичным периодом прошлого года. Мы понимаем, что лесной рынок не перестроится на переработку сырья мгновенно, и потребуется время для создания деревообрабатывающих мощностей. Тем не менее, мы уже сейчас наблюдаем рост в производстве и экспорте продукции глубокой переработки древесины: вывоз пиломатериалов увеличился на 1,5 %, фанеры на 23,8 %, ДСП на 18,9 %, мебели на 295,5 %», — отметил в своем выступлении статс-секретарь — заместитель Министра промышленности и торговли **Виктор Евтухов**.

Создание условий для запуска и развития крупных проектов по глубокой переработке древесины и переориентация лесозаготовителей на лесопиление — одни из ключевых текущих задач министерства. Основным инструментом поддержки крупных проектов остается механизм приоритетных инвестиционных проектов в области освоения лесов, предусматривающий льготные условия получения леса без аукциона и скидки в размере 50 % к ставкам платы за лесные ресурсы.

В настоящее время на территории ДФО реализуются 14 инвестиционных проектов с общим объемом заявленных инвестиций по проектам 32,13 млрд руб., позволяющие производить пиломатериалы, плиты, шпон, паркет, картон, целлюлозную продукцию, биотопливо и способные перерабатывать до 9 млн куб. м. древесины. Фактический объем привлеченных инвестиций в реализацию проектов составляет 38,1 млрд руб.

В рамках механизма приоритетных инвестиционных проектов в регионе построены и введены в эксплуатацию мощности 8 проектов с общим объемом инвестиций порядка 27 млрд руб. («Гернейлес», «Туранлес», «Дальлеспром», «Лес Экспорт», «Амур Форест», «Аркаим», «Римбунан-Хиджау МДФ», «Приморсклеспром»), в стадии реализации находится еще 6 проектов по созданию мощностей по переработке 1,8 млн куб. м. древесины (объемом инвестиций порядка 5 млрд руб.). Тем не менее, Минпромторг России призывает администрации субъектов к активному диалогу с крупным лесным бизнесом и местными небольшими предприятиями с целью развития отрасли в регионе.

«Портфель Сбербанка в лесопромышленной отрасли составляет 120 млрд руб. Тот прирост, который наблюдается сейчас, мог бы быть более динамичным при условии повышения прозрачности ценообразования и инвестиционной активности инвесторов. Доля Сбербанка в ЛПК составляет 21 % и демонстрирует большой потенциал для развития взаимодействия Сбербанка с предприятиями лесного сектора. Со своей стороны, Сбербанк кастомизирует банковские продукты под лесную промышленность, например, по лизингу лесной техники снижен размер аванса до 15 %. С учетом проектов в работе до конца года доля Банка в отрасли достигнет 25 %», — отметил Старший вице-президент ПАО Сбербанк **Владимир Ситнов**.

V Восточный экономический форум проходит с 4 по 6 сентября на территории кампуса Дальневосточного федерального университета (ДВФУ). Форум был учрежден Президентом Российской Федерации В.В. Путиным в 2015 г. в целях содействия развитию экономики Дальнего Востока и расширения международного сотрудничества в Азиатско-Тихоокеанском регионе. Многие темы, которые поднимались в предыдущие годы, стали основой для разработки и принятия законов и внедрения новых мер поддержки бизнеса.