

# ЛЕСНОЙ ВЕСТНИК / FORESTRY BULLETIN

Научно-информационный журнал

№ 5 ' 2021 Том 25

## Главный редактор

**Санаев Виктор Георгиевич**, д-р техн. наук, профессор, директор  
Мытищинского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

## Редакционный совет журнала

**Артамонов Дмитрий Владимирович**, д-р техн. наук, профессор,  
Пензенский ГУ, Пенза

**Ашраф Дарвиш**, ассоциированный профессор, факультет  
компьютерных наук, Университет Хелуан, Каир, Египет,  
Исследовательские лаборатории Machine Intelligence  
(MIR Labs), США

**Беляев Михаил Юрьевич**, д-р техн. наук, начальник отдела,  
зам. руководителя НТЦ РКК «Энергия» им. С.П. Королёва, Москва

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

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

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

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

**Драпалюк Михаил Валентинович**, д-р техн. наук, профессор,  
ректор ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова, Воронеж

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Ответственный секретарь Расева Елена Александровна

Редактор Л.В. Сивай

Перевод М.А. Карпухиной

Электронная версия Ю.А. Рязской

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 08.10.2021.

Тираж 600 экз.

Заказ №

Объем 17,25 п. л.

Цена свободная

# LESNOY VESTNIK / FORESTRY BULLETIN

Scientific Information Journal  
№ 5 ' 2021 Vol. 25

## Editor-in-chief

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

## Editorial council of the journal

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

**Lipatkin Vladimir Aleksandrovich**, Professor, Ph. D. (Biol.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow  
**Lukina Natalya Vasilyevna**, Corresponding Member of the RAS, Director of the Center for Sub-Settlement Research RAS, Deputy Chairperson of the Forest Research Council  
**Makuev Valentin Anatol'evich**, Dr. Sci. (Tech.), Associate Professor, BMSTU (Mytishchi branch), Moscow  
**Malashin Alexey Anatolyevich**, Professor, Dr. Sci. (Physics and Mathematics), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow  
**Martynuk Aleksandr Aleksandrovich**, Dr. Sci. (Agric.), VNIILM, Moscow  
**Melekhov Vladimir Ivanovich**, Professor, Dr. Sci. (Tech.), Academician of the Russian Academy of Natural Sciences, NARFU, Arkhangelsk  
**Moiseyev Aleksandr Nikolaevich**, Senior Researcher, European Forest Institute, Joensuu, Finland  
**Nakvasina Elena Nikolaevna**, Professor, Dr. Sci. (Agric.), Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Higher School of Natural Sciences and Technology, Arkhangelsk  
**Niemz Peter**, Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h.c., Prof. for Wood Physics, ETH Zurich (Swiss Federal Institute of Technology in Zurich; Eidgenossische Technische Hochschule Zurich)  
**Oblivin Aleksandr Nikolaevich**, Professor, Dr. Sci. (Tech.), Academician of the Russian Academy of Natural Sciences and MANVSH, Honored worker of science and equipment of the Russian Federation, BMSTU, Moscow  
**Pasztory, Zoltan**, Dr., Ph.D., Director of Innovation Center, University of Sopron, Sopron, Hungary  
**Poleshchuk Ol'ga Mitrofanovna**, Professor, Dr. Sci. (Tech.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow  
**Poluektov Nikolai Pavlovich**, Professor, Dr. Sci. (Tech.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow  
**Rodin Sergey Anatol'evich**, Professor, the Dr. Sci. (Agric.), ARRISMF, Moscow  
**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  
**Shchepashchenko Dmitry Gennadievich**, Associate Professor, Dr. Sci. (Biol.), Senior Researcher, International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Austria  
**Shimkovich Dmitriy Grigor'evich**, Professor, Dr. Sci. (Tech.), OOO «Kudesnik», Moscow  
**Strekalov Aleksandr Fedorovich**, Ph. D. (Tech.), JSC «Tactical Missiles Corporation», Korolev  
**Teodoronskiy Vladimir Sergeevich**, Professor, Dr. Sci. (Agric.), academician of the Russian Academy of Natural Sciences, BMSTU (Mytishchi branch), Moscow  
**Titov Anatoliy Matveevich**, Ph. D. (Tech.), Deputy Chief of Department, Scientific Secretary of the Board of MCC TSNIMASH, Korolev  
**Trichkov Neno Ivanov**, professor, Dr., Vice-Rector for Research, Forestry University, Sofia, Bulgaria  
**Fedotov Gennadiy Nikolaevich**, Dr. Sci. (Biol.), Lomonosov Moscow State University, Moscow

Assistant Editor Raseva Elena Aleksandrovna

Editor L.V. Sivay

Translation by M.A. Karpukhina  
Electronic version by Yu.A. Ryazhskaya

## Founder BMSTU

The journal is registered by the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology, and Mass Media Certificate on registration ПИ № ФС 77-68118 of 21.12.2016 The journal is included in the list of approved VAK of the Russian Federation for editions for the publication of works of competitors of scientific degrees Materials of the present magazine can be reprinted and reproduced fully or partly with the written permission of publishing house It has been published since 1997

Publishing house  
141005, Mytishchi, Moscow Region, Russia  
1st Institutskaya street, 1  
(498) 687-41-33  
les-vest@mgul.ac.ru

It is sent for the press 08.10.2021.  
Circulation 600 copies  
Order №  
Volume 17,25 p. p.  
Price free



# СОДЕРЖАНИЕ

## БИОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА

<b>Есичев А.О., Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П.</b> Наследственная обусловленность пигментного состава хвои представителей рода лиственница .....	5
<b>Сингатуллин И.К., Шайхразиев Ш.Ш., Глушко С.Г.</b> Естественное возобновление березы повислой ( <i>Betula pendula</i> Roth.) в лесотепной зоне Республики Татарстан .....	14
<b>Смирнов А.И., Никитин В.Ф., Генералова А.А., Аксенов П.А.</b> Приживаемость и морфологические особенности саженцев ели европейской ( <i>Picea abies</i> L.), обработанных низкочастотным электромагнитным полем и посаженных с внесением гидрогеля .....	22
<b>Самарин А.Е., Корчагов С.А., Грибов С.Е., Смирнов С.А.</b> Оценка кормовой базы лося европейского в лесном фонде охотхозяйства «Вологодское» .....	30
<b>Потапенко А.М., Толкачева Н.В., Бутьковец В.В., Шатравко А.В., Мохначев П.Е.</b> Государственный лесной кадастр как основа инвентаризации парниковых газов для категории «Лесные земли» .....	37
<b>Бердникова Л.Н.</b> Меры безопасности для людей, находящихся в лесу, при возникновении пожара .....	51

## ЛАНДШАФТНАЯ АРХИТЕКТУРА

<b>Хохлачева Ю.А., Мамаева Н.А., Кузнецова Я.В.</b> Потенциальные возможности применения некоторых сортов рода <i>Hosta</i> L. из коллекции лаборатории декоративных растений Главного ботанического сада РАН на объектах городской ландшафтной архитектуры .....	56
<b>Леонова В.А., Куликова А.И., Тарасова Л.А.</b> Состояние природных ландшафтов крестьянской усадьбы в деревне Асташово Костромской области и перспективы их развития .....	74

## ДЕРЕВООБРАБОТКА И ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

<b>Кононов Г.Н., Веревкин А.Н., Сердюкова Ю.В., Зайцев В.Д., Горячев Н.Л.</b> Микелиз древесины, его продукты и их использование. IV. Компонентный состав микологически разрушенной древесины .....	85
<b>Бабаханова Х.А., Галимова З.К., Абдуназаров М.М., Исмаилов И.И.</b> Исследование красковосприятости бумаги с добавлением целлюлозной массы из коры веток тутового дерева .....	97
<b>Серегин Н.Г., Запруднов В.И.</b> Определение оптимальных составов цементогрунтов при устройстве свайных фундаментов буромесительным способом .....	106
<b>Черемисин Д.Г., Мкртчян В.Р., Иванкин А.Н., Устюгов А.В., Маслов М.И., Никонорова А.А.</b> Потенциальные возможности 3D-печати для получения композиционных материалов на основе синтетических и природных биополимеров (обзор) .....	111

## ЛЕСОИНЖЕНЕРНОЕ ДЕЛО

<b>Боровлев А.О., Скрыпников А.В., Брюховецкий А.Н., Тимофеев В.А., Прокопец В.С.</b> Обзор принципов пространственного проектирования лесовозных автомобильных дорог .....	119
--	-----

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

<b>Кладько С.В., Полуэктов Н.П., Усатов И.И.</b> Влияние магнитного поля на характеристики плазмы в магнетронном разряде с полым катодом .....	125
<b>Алексеев В.В., Батырев Ю.П., Болдырев М.А., Воронцов П.С., Князев Р.И., Котов Ю.Т.</b> Использование композиционных и суперпозиционных законов распределения вероятностей отказов при оценке надежности электротехнических изделий военного назначения .....	131

# CONTENTS

## BIOLOGICAL AND TECHNOLOGICAL ASPECTS OF FORESTRY

<b>Yesichev A.O., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P.</b> Hereditary dependence of pigment composition in genus larch needles .....	5
<b>Singatullin I.K., Shakhraziev Sh.Sh., Glushko S.G.</b> <i>Betula pendula</i> Roth. natural regeneration in forest-steppe zone of Tatarstan Republic .....	14
<b>Smirnov A.I., Nikitin V.F., Generalova A.A., Aksenov P.A.</b> European spruce ( <i>Picea abies</i> L.) survival ability and morphological traits of seedlings treated with low-frequency electromagnetic field and planted with hydrogel application .....	22
<b>Samarin A.E., Korzhagov S.A., Gribov S.E., Smirnov S.A.</b> European elk fodder base evaluation in forestry fund of Vologodskoe hunting establishment .....	30
<b>Potapenko A.M., Tolkacheva N.V., But'kovets V.V., Shatravko A.V., Mokhnachev P.E.</b> State forest register as basis of greenhouse gas inventory for land use, land use change and forestry sector .....	37
<b>Berdnikova L.N.</b> Safety measures for people during forest fires .....	51

## LANDSCAPE ARCHITECTURE

<b>Khokhlacheva Yu.A., Mamaeva N.A., Kuznetsova Y.V.</b> Potential applications of some varieties of <i>Hosta</i> L. from collection of Laboratory of ornamental plants of Main Botanical Garden RAS on objects of urban landscape architecture .....	56
<b>Leonova V.A., Kulikova A.I., Tarasova L.A.</b> Natural landscapes state of peasant manor in Astashovo village (Kostroma region) and prospects of their development .....	74

## WOODWORKING AND CHEMICAL WOOD PROCESSING

<b>Kononov G.N., Verevkin A.N., Serdyukova Yu.V., Zaitsev V.D., Goryachev N.L.</b> Mycolysis of wood, its products and their use. IV. Component analysis of mycologically destroyed wood .....	85
<b>Babakhanova Kh.A., Galimova Z.K., Abdunazarov M.M., Ismailov I.I.</b> Paper trapping research after adding Mulberry tree branches bark cellulose pulp .....	97
<b>Seregin N.G., Zaprudnov V.I.</b> Optimal composition test of cement primers in pile foundation construction by boring and mixing method .....	106
<b>Cheremisin D.G., Mkrтчan V.R., Ivankin A.N., Ustyugov A.V., Maslov M.I., Nikonorova A.A.</b> Potential possibilities of 3D printing for producing composite materials based on natural bio- and synthetic polymers (a review) .....	111

## FOREST ENGINEERING

<b>Borovlev A.O., Skrypnikov A.V., Bryukhovetsky A.N., Timofeev V.A., Prokopets V.S.</b> Principles of spatial design for haulage roads .....	119
--	-----

## MATH MODELING

<b>Klad'ko S.V., Poluektov N.P., Usatov I.I.</b> Effect of magnetic field on plasma characteristics in magnetron discharge with hollow cathode .....	125
<b>Alekseev V.V., Batyrev Yu.P., Boldyrev M.A., Vorontsov P.S., Knyazev R.I., Kotov T.Yu.</b> Composition and superposition failures probability distribution laws for assessing military electrical products reliability .....	131

## НАСЛЕДСТВЕННАЯ ОБУСЛОВЛЕННОСТЬ ПИГМЕНТНОГО СОСТАВА ХВОИ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РОДА ЛИСТВЕННИЦА

А.О. Есичев<sup>1</sup>, Н. Н. Бессчетнова<sup>2</sup>, В. П. Бессчетнов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Министерство лесного хозяйства и охраны объектов животного мира Нижегородской области, 603134, г. Нижний Новгород, ул. Костина, д. 2

<sup>2</sup>Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия, 603107, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, д. 97

lesfak@bk.ru

Исследовано содержание и соотношение пластидных пигментов в хвое трех видов рода Лиственница (*Larix* Mill.): л. сибирской (*L. sibirica* Ledeb.), л. Гмелина (*L. Gmelinii* (Rupr.) Rupr.), л. Сукачева (*L. Sukaczewii* Dylis). Их семенное потомство сосредоточено на опытном участке в Сергачском лесничестве Нижегородской обл. с географическими координатами 55°32'14.2"N и 45°28'01.0"E, абсолютной высотой 160 м. Участок отнесен к зоне хвойно-широколиственных лесов (третья лесорастительная зона) и входит в район хвойно-широколиственных (смешанных) лесов европейской части Российской Федерации. Спектрофотометрическим методом определено содержание в хвое хлорофилла *a*, хлорофилла *b* и каротиноидов при длинах волн 665 нм, 649 нм, 452,5 нм. Выявлены фенотипические различия в пигментном составе хвои между представителями указанных видов. Обнаружено преобладание в пигментном составе лиственницы сибирской хлорофилла *a* ( $3,76 \pm 0,12$  мг/г), значительно меньше хлорофилла *b* ( $1,87 \pm 0,07$  мг/г) и еще меньше каротиноидов ( $0,59 \pm 0,02$  мг/г). Отмечена стабильность указанной структуры пигментного состава других видов лиственницы. Установлена наследственная обусловленность видоспецифичности л. сибирской, л. Гмелина и л. Сукачева (*L. Sukaczewii* Dylis) по всем тестируемым характеристикам. Наибольшее влияние ( $29,84 \pm 1,61$  %) на формирование общей фенотипической дисперсии отмечено по отношению содержания хлорофилла *a* к содержанию каротиноидов, наименьшее ( $5,89 \pm 2,16$  %) — по содержанию в хвое сухого вещества. Сравнительно высокие значения получены по доле каротиноидов ( $26,74 \pm 1,68$  %) и отношению их содержания к сумме хлорофиллов ( $26,39 \pm 1,69$  %). Показано, что исследованные виды проявили неодинаковый уровень сходства либо существенных различий между собой по отдельным характеристикам пигментного состава хвои.

**Ключевые слова:** лиственница, пигментный состав, хлорофилл *a*, хлорофилл *b*, каротиноиды, видоспецифичность, наследственная обусловленность

**Ссылка для цитирования:** Есичев А.О., Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П. Наследственная обусловленность пигментного состава хвои представителей рода лиственница // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 5. С. 5–13. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-5-5-13

Перспективы перехода отечественного лесного комплекса к инновационному типу эксплуатации и воспроизводства лесных ресурсов определены государственной стратегией его развития до 2030 г. В частности, сформулированы задачи селекционного совершенствования важнейших древесных пород, сохранения и расширения их видового разнообразия и внутривидового полиморфизма, модернизации форм хозяйственного использования с распространением достигнутых результатов в новые регионы. Своевременное и полномасштабное воплощение в жизнь намеченных планов невозможно без надежной опоры на достижения отраслевой науки, что, прежде всего, предполагает ее устойчивое развитие. Для этого необходимо оперативное получение точных сведений о наследственной обусловленности и масштабах варьирования базовых характеристик главных лесообразующих пород. На территории России — это род Лиственница (*Larix* Mill.), насаждения которой, характеризуясь заметным разнообразием видового состава, занимают около 40 % всей лесопокрытой площади и аккумулируют до 34 % запасов древесины. Колоссальное значение лиственничных лесов отмечается и для стабилизации экологической обстановки — выполнения ими

водоохранных, почвозащитных, рекреационных и бальнеологических функций. Общепризнано высокое их значение для продуктивного депонирования углерода. Поэтому интерес к представителям данного рода ни в России [1–3], ни за ее пределами [4–10] не ослабевает. Проводятся активные исследования систематики, физиологии, межвидового разнообразия и внутривидового полиморфизма рода Лиственница по широкому спектру признаков и свойств, имеющих хозяйственное, адаптационное и идентификационное значение [1–3, 11–18]. Пигментный состав листового аппарата во многом определяет параметры фотосинтеза и в конечном итоге продуктивность и устойчивость древесных растений [19–23]. Он неизменно входит в круг вопросов всестороннего изучения биологии хвойных пород [24–26], произрастающих, в частности, в Нижегородской обл. [27–30], в том числе лиственницы [31, 32]. Известно, что содержание пигментов в хвое зависит от генотипа [19–24, 33–35].

### Цель работы

Цель работы — оценка степени наследственной обусловленности фенотипических проявлений признаков пигментного состава хвои л. сибирской, л. Гмелина, л. Сукачева.



## Материалы и методы

Предмет исследований — наследственная обусловленность межвидовой изменчивости представителей рода Лиственница (*Larix* Mill.) по содержанию и соотношению в хвое пластидных пигментов и сухого вещества. Объект исследований — дендрологическая коллекция трех видов: л. сибирской (*L. sibirica* Ledeb.), л. Гмелина (*L. gmelinii* (Rupr.) Rupr.) и л. Сукачева (*L. Sukaczewii* Dylis). Последняя из них относится к аборигенной дендрофлоре Нижегородского Поволжья, другие виды являются экзотами. Территориально коллекция размещена в Сергачском межрайонном лесничестве Нижегородской обл. Географические координаты участка 55°32'14.2"N и 45°28'01.0"E, абсолютная высота 160 м. Он входит в зону хвойно-широколиственных лесов (третья лесорастительная зона), район хвойно-широколиственных (смешанных) лесов европейской части Российской Федерации. Сформировавшиеся здесь почвенно-климатические условия вполне благоприятны для произрастания аборигенных видов и экзотов лиственницы, что подтверждается наличием в границах лесничества естественных насаждений л. Сукачева I и даже Ia классов бонитета. За методологическую основу работы были взяты принцип единственного логического различия, репрезентативности и рандомности выборок, требования к типичности, пригодности и надежности опыта. В рамках полевого стационарного этапа проведена одновременная заготовка хвои с периферии хорошо освещенного участка кроны. Ее пучки отделяли из центральной части нормально

развитых побегов без признаков повреждений внешними факторами. В схеме опыта каждый вид был представлен 10 учетными деревьями, от каждого из которых заготовлено по три побега, служивших источником формирования первичных единиц выборки. Их общее количество составило 90 единиц. Лабораторные анализы выполнены спектрофотометрическим методом в соответствии с общепринятыми методиками количественного определения содержания в листовой массе фотосинтетических пигментов. Максимумы спектров поглощения фиксировали при длинах волн: 665 нм (хлорофилл *a*), 649 нм (хлорофилл *b*), 452,5 нм (каротиноиды) [19–23, 35, 36]. Принятая организационно-методическая схема широко реализуется в подобных исследованиях [19–23, 35]. Основные статистики находили по общеизвестным методическим схемам с использованием вычислительных алгоритмов для электронных таблиц Excel, разработанных авторами [19–24, 27, 28, 35].

## Результаты и обсуждение

Установлены основные характеристики содержания и соотношения пластидных пигментов в листовом аппарате трех видов лиственницы, введенных в схему опыта (табл. 1–3).

В общем составе пластидных пигментов фотосинтезирующего аппарата л. сибирской (см. табл. 1) количественно преобладает хлорофилл *a* ( $3,76 \pm 0,12$  мг/г), значительно меньше содержится хлорофилла *b* ( $1,87 \pm 0,07$  мг/г) и еще меньше — каротиноидов ( $0,59 \pm 0,02$  мг/г). Аналогичная картина наблюдается в содержании и балансе пластидных пигментов у других видов лиственницы (см. табл. 2, 3).

Т а б л и ц а 1

**Пигментный состав хвои лиственницы сибирской**  
Pigment composition in Siberian larch needles

Характеристики пигментного состава	Основные статистики			Точность опыта, %
	mid	max	min	
Содержание хлорофилла <i>a</i> , мг/г	$3,76 \pm 0,12$	4,87	2,81	3,13
Содержание хлорофилла <i>b</i> , мг/г	$1,81 \pm 0,18$	2,78	1,26	4,02
Сумма хлорофилла <i>a</i> и хлорофилла <i>b</i> , мг/г	$5,57 \pm 0,02$	7,60	4,06	3,27
Содержание каротиноидов, мг/г	$0,59 \pm 0,04$	0,78	0,43	2,69
Отношение хлорофилла <i>a</i> к хлорофиллу <i>b</i>	$2,10 \pm 0,13$	2,39	1,60	2,06
Отношение хлорофилла <i>a</i> к каротиноидам	$6,42 \pm 0,05$	7,40	4,90	2,03
Отношение хлорофилла <i>b</i> к каротиноидам	$3,07 \pm 0,005$	3,85	2,57	1,62
Доля хлорофилла <i>a</i> в пигментном составе	$0,68 \pm 0,005$	0,71	0,62	0,72
Доля хлорофилла <i>b</i> в пигментном составе	$0,32 \pm 0,002$	0,38	0,29	1,49
Доля каротиноидов в пигментном составе	$0,10 \pm 0,002$	0,12	0,08	1,57
Отношение каротиноидов к сумме хлорофиллов	$0,11 \pm 0,20$	0,13	0,09	1,75
Сумма пигментов, мг/г	$6,16 \pm 0,20$	8,38	4,49	3,18
Сухое вещество, %	$34,68 \pm 0,20$	38,59	29,38	1,39

Т а б л и ц а 2

## Пигментный состав хвои лиственницы Гмелина

## Pigment composition in Gmelin's larch needles

Характеристики пигментного состава	Основные статистики			Точность опыта, %
	mid	max	min	
Содержание хлорофилла <i>a</i> , мг/г	4,32 ± 0,09	5,27	3,43	1,97
Содержание хлорофилла <i>b</i> , мг/г	1,98 ± 0,04	2,52	1,53	2,05
Сумма хлорофилла <i>a</i> и хлорофилла <i>b</i> , мг/г	6,30 ± 0,12	7,79	5,10	1,94
Содержание каротиноидов, мг/г	0,56 ± 0,01	0,64	0,45	1,43
Отношение хлорофилла <i>a</i> к хлорофиллу <i>b</i>	2,19 ± 0,02	2,38	1,96	1,02
Отношение хлорофилла <i>a</i> к каротиноидам	7,69 ± 0,11	8,70	6,77	1,40
Отношение хлорофилла <i>b</i> к каротиноидам	3,52 ± 0,05	4,17	2,86	1,47
Доля хлорофилла <i>a</i> в пигментном составе	0,69 ± 0,002	0,70	0,66	0,32
Доля хлорофилла <i>b</i> в пигментном составе	0,31 ± 0,002	0,34	0,30	0,71
Доля каротиноидов в пигментном составе	0,08 ± 0,001	0,09	0,07	1,26
Отношение каротиноидов к сумме хлорофиллов	0,09 ± 0,001	0,10	0,08	1,37
Сумма пигментов, мг/г	6,86 ± 0,13	8,39	5,59	1,87
Сухое вещество, %	35,45 ± 0,38	40,45	32,02	1,07

Т а б л и ц а 3

## Пигментный состав хвои лиственницы Сукачева

## Pigment composition in Sukachev's larch needles

Характеристики пигментного состава	Основные статистики			Точность опыта, %
	mid	max	min	
Содержание хлорофилла <i>a</i> , мг/г	4,33 ± 0,12	5,69	3,01	2,79
Содержание хлорофилла <i>b</i> , мг/г	2,13 ± 0,06	2,80	1,47	2,84
Сумма хлорофилла <i>a</i> и хлорофилла <i>b</i> , мг/г	6,46 ± 0,18	8,49	4,52	2,78
Содержание каротиноидов, мг/г	0,64 ± 0,01	0,71	0,57	0,97
Отношение хлорофилла <i>a</i> к хлорофиллу <i>b</i>	2,04 ± 0,02	2,26	1,90	0,89
Отношение хлорофилла <i>a</i> к каротиноидам	6,82 ± 0,20	9,26	4,84	2,94
Отношение хлорофилла <i>b</i> к каротиноидам	3,36 ± 0,10	4,56	2,32	2,94
Доля хлорофилла <i>a</i> в пигментном составе	0,67 ± 0,002	0,69	0,66	0,29
Доля хлорофилла <i>b</i> в пигментном составе	0,33 ± 0,002	0,34	0,31	0,58
Доля каротиноидов в пигментном составе	0,09 ± 0,002	0,12	0,07	2,66
Отношение каротиноидов к сумме хлорофиллов	0,10 ± 0,003	0,14	0,07	2,95
Сумма пигментов, мг/г	7,10 ± 0,18	9,11	5,16	2,54
Сухое вещество, %	36,09 ± 0,42	41,58	31,68	1,15

Считается, что лиственный аппарат теневыносливых видов содержит не только общее большее количество хлорофиллов (суммарное содержание хлорофилла *a* и хлорофилла *b*), но и большее количество хлорофилла *b*. Следовательно, доля хлорофилла *b*, у теневыносливых видов должна быть выше, а отношение содержания хлорофилла *a* к содержанию хлорофилла *b* — ниже. У светолюбивых растений, к которым относят лиственницу — наоборот.

В рассматриваемом случае наибольшая сумма хлорофиллов (6,46 ± 0,18 мг/г) обнаружена у л. Сукачева (см. табл. 3), наименьшее (5,57 ± 0,18 мг/г) — у л. сибирской (см. табл. 1), л. Гмелина занимала промежуточную позицию (6,30 ± 0,12 мг/г).

Отношение содержания хлорофилла *a* к содержанию хлорофилла *b*, как один из важных показателей физиологического состояния и фотосинтетической активности растений для лиственницы сибирской (см. табл. 1) достигло значения 2,10 ± 0,04, несколько меньшего, чем для большинства других представителей семейства сосновые (*Pinaceae* L.) и адекватного нормальному соотношению указанных пигментов для листопадных лиственных древесных пород. Наибольшая оценка (2,19 ± 0,02) этого показателя отмечена у л. Гмелина (см. табл. 2), а наименьшая (2,04 ± 0,02) — у лиственницы Сукачева (см. табл. 3).

У светолюбивых растений, к числу которых традиционно относят практически все виды

**Существенность различий между представителями рода лиственница  
по пигментному составу хвои**

**Significance of differences between genus larch representatives in the pigment composition of needles**

Признаки пигментного состава	Критерий Фишера опытный	Влияние организованного фактора ( $h^2 \pm s_h^2$ )				Критерии различий	
		по Плохинскому		по Снедекору		НСР <sub>05</sub>	D <sub>05</sub>
		доля влияния $h^2$	ошибка $\pm s_h^2$	доля влияния $h^2$	ошибка $\pm s_h^2$		
Содержание хлорофилла <i>a</i>	9,096	0,1729	0,0190	0,2125	0,0181	0,30	0,37
Содержание хлорофилла <i>b</i>	7,151	0,1412	0,0197	0,1702	0,0191	0,17	0,20
Сумма хлорофилла <i>a</i> и хлорофилла <i>b</i>	8,455	0,1627	0,0192	0,1990	0,0184	0,45	0,56
Содержание каротиноидов	12,438	0,2223	0,0179	0,2760	0,0166	0,03	0,04
Отношение хлорофилла <i>a</i> к хлорофиллу <i>b</i>	6,506	0,1301	0,0200	0,1551	0,0194	0,08	0,10
Отношение хлорофилла <i>a</i> к каротиноидам	18,502	0,2984	0,0161	0,3685	0,0145	0,42	0,52
Отношение хлорофилла <i>b</i> к каротиноидам	10,583	0,1957	0,0185	0,2421	0,0174	0,20	0,24
Доля хлорофилла <i>a</i> в пигментном составе	5,957	0,1204	0,0202	0,1418	0,0197	0,01	0,01
Доля хлорофилла <i>b</i> в пигментном составе	5,957	0,1204	0,0202	0,1418	0,0197	0,01	0,01
Доля каротиноидов в пигментном составе	15,875	0,2674	0,0168	0,3315	0,0154	0,00	0,01
Отношение каротиноидов к сумме хлорофиллов	15,599	0,2639	0,0169	0,3273	0,0155	0,01	0,01
Сумма пигментов	8,278	0,1599	0,0193	0,1952	0,0185	0,47	0,58
Сухое вещество	2,722	0,0589	0,0216	0,0543	0,0217	1,19	1,45

*Примечание.* НСР<sub>05</sub> — наименьшая существенная разность; D<sub>05</sub> — критерий Тьюки; критерий Фишера на 5%-м уровне значимости равен 3,10.

лиственницы, оценки отношения хлорофилла *b* к каротиноидам ниже. Так, в рассматриваемом случае наибольшее значение ( $3,52 \pm 0,05$ ) у л. Гмелина (см. табл. 2), а наименьшее ( $3,07 \pm 0,05$ ) — у л. сибирской (см. табл. 1). Лиственница Сукачева имела промежуточный результат ( $3,36 \pm 0,10$ ).

В целом межвидовые различия наблюдались практически по всем характеристикам пигментного состава хвои, включая долевыми оценками и отношениями. При этом масштаб таких различий специфичен в рамках тестируемых признаков. Поскольку исследуемые растения размещены на выровненном экофоне в границах единого участка, различия между ними в известной мере могут быть признаны наследственно обусловленными. В статистическом плане полученные данные достоверны, о чем свидетельствует значение относительной ошибки, по которой можно судить о точности опыта, не превысившее допустимого предела в 5 %.

Установленные фенотипические различия между видами лиственницы по признакам пигментного состава хвои (см. табл. 1–3) и полученные подтверждения статистической достоверности этих данных позволили провести по ним дисперсионный анализ (табл. 4).

Получено подтверждение существенности межвидовых различий рассматриваемого дисперсионного комплекса, на что указывают расчетные величины критерия Фишера, заметно превысившие по всем признакам минимально допустимый предел на 5%-м уровне значимости. Такой

результат позволил вычислить силу влияния межвидовых различий как организованного фактора опыта. Наибольшая оценка ( $29,84 \pm 1,61$  %) в расчетах по алгоритму Плохинского достигнута по отношению содержания хлорофилла *a* к содержанию каротиноидов (см. табл. 4), а наименьшая ( $5,89 \pm 2,16$  %) — по содержанию в хвое сухого вещества. Сравнительно высокие значения получены по доле каротиноидов и отношению их содержания к сумме хлорофиллов:  $26,74 \pm 1,68$  % и  $26,39 \pm 1,69$  % соответственно. Чувствительность характеристик пигментного состава хвои к действию условий среды также неодинакова. Все полученные в указанном порядке значения достоверны, а вычисления по алгоритму Снедекора дали вполне сопоставимый результат.

Оценки существенности различий (НСР<sub>05</sub> и D<sub>05</sub>) обозначили предел значений, выше которого величина фактической разности между средними величинами показателя (см. табл. 1–3), может быть признана существенной на пятипроцентном уровне значимости (см. табл. 4). В частности, по содержанию хлорофилла *a* л. сибирская достоверно отличалась от л. Гмелина и л. Сукачева, в то время, как и л. Гмелина, и л. Сукачева не имели между собой существенных различий. Аналогичная картина сложилась по суммарному содержанию хлорофилла *a* и хлорофилла *b*. По содержаниям хлорофилла *b*, каротиноидов и сухого вещества ситуация иная: от остальных существенно отличается только л. Сукачева.



## Выводы

1. Пигментный состав хвои аборигенных и интродуцированных представителей рода Лиственница в условиях Нижегородской обл. и носит видоспецифичный характер и подвержен внутривидовой изменчивости.

2. Различия между лиственницей сибирской, л. Гмелина и л. Сукачева по содержанию и соотношению пластидных пигментов обусловлены особенностями генотипов составляющих их особей, что проявилось на выровненном экофоне и подтверждено результатами дисперсионного анализа.

3. Исследованные виды демонстрировали неодинаковый уровень сходства либо существенных различий между собой в отдельных характеристиках пигментного состава хвои.

## Список литературы

- [1] Бессчетнов В.П., Бессчетнова Н.Н., Есичев А.О. Оценка физиологического состояния представителей рода лиственница (*Larix Mill.*) в условиях Нижегородской области // ИВУЗ Лесной журнал, 2018. № 1. С. 9–17. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.9
- [2] Улитин М.М., Бессчетнов В.П. Сравнительная оценка таксационных показателей лесных культур лиственницы сибирской (*Larix sibirica*) при интродукции в Нижегородской области // ИВУЗ Лесной журнал, 2020. № 6. С. 33–41. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-6-33-41
- [3] Улитин М.М., Бессчетнов В.П., Орнатский А.Н. Морфологические показатели шишек лиственницы сибирской в полесозащитных полосах Нижегородской области // Экономические аспекты развития АПК и лесного хозяйства. Лесное хозяйство Союзного государства России и Белоруссии: Матер. Междунар. науч.-практ. конференции. Нижний Новгород, 26 сентября 2019 г. / под ред. Н.Н. Бессчетновой. Нижний Новгород: Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия, 2019. С. 220–225.
- [4] Bonnet-Masimbert M., Pâques L. E., Baldet P., Philippe G. From flowering to artificial pollination in larch for breeding and seed orchard production // The Forestry Chronicle, 1998, v. 74, iss. 2, pp. 195–202. DOI: 10.5558/tfc74195-2
- [5] Sigurdsson B.D., Magnusson B., Elmarsdottir A., Bjarnadottir B. Biomass and composition of understory vegetation and the forest floor carbon stock across Siberian larch and mountain birch chronosequences in Iceland // Annals of Forest Science, 2005, v. 62, no. 8, pp. 881–888. DOI: 10.1051/forest:2005079
- [6] Colas F., Perron M., Tousignant D., Parent C., Pelletier M., Lemay P. A novel approach for the operational production of hybrid larch seeds under northern climatic conditions // The Forestry Chronicle, 2008, v. 84, iss. 1, pp. 95–104. DOI: 10.5558/tfc84095-1
- [7] Aniszewska M. Analysis of opening cones of selected coniferous trees // Annals of Warsaw University of Life Sciences — SGGW, Agriculture (Agricultural and Forest Engineering), 2010, v. 55, pp. 57–64.
- [8] Repáč I., Tučeková A., Sarvašová I., Vencurik J. Survival and growth of outplanted seedlings of selected tree species on the High Tatra Mts. windthrow area after the first growing season // J. of Forest Science, 2011, v. 57, iss. 8, pp. 349–358. DOI: 10.17221/130/2010-JFS
- [9] Danek M., Chuchro M., Walanus A. Variability in Larch (*Larix Decidua Mill.*) Tree-Ring Growth Response to Climate in the Polish Carpathian Mountains // Forests, 2017, v. 8, iss. 10, article number 354, pp. 354 (1–22). DOI: 10.3390/f8100354
- [10] Aniszewska M., Gendek A., Zychowicz W. Analysis of Selected Physical Properties of Conifer Cones with Relevance to Energy Production Efficiency // Forests, 2018, v. 9, iss. 7, article number 405, pp. 405(1–12). DOI: 10.3390/f9070405
- [11] Markiewicz P. Problems with seed production of European larch in seed orchards in Poland // Seed orchards: Proceedings from a conference at Umeå, Sweden, 26–28 September 2007. Uppsala, Sweden: Publikationstjänst, 2008, pp. 161–164.
- [12] Mihai G., Teodosiu M. Genetic diversity and breeding of larch (*Larix decidua Mill.*) in Romania // Annals of Forest Research, 2009, v. 52, no. 1, pp. 97–108. DOI: 10.15287/afr.2009.126
- [13] Nagaike T., Hayashi A., Kubo M. Diversity of naturally regenerating tree species in the overstorey layer of *Larix kaempferi* plantations and abandoned broadleaf coppice stands in central Japan // Forestry: An International J. of Forest Research, 2010, v. 83, iss. 3, pp. 285–291. DOI: 10.1093/forestry/cpq011
- [14] Vilcan A., Holonec L., Tăut I., Sestras R.E. Variability of the traits of cones and seeds in different larch clones: I. The influence of the provenance // Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Horticulture, 2011, v. 68, no. 1, pp. 474–480.
- [15] Vilcan A., Holonec L., Tăut I., Sestras R.E. Variability of the traits of cones and seeds in different larch clones: II. The energy and capacity of germination of seeds // Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Horticulture, 2011, v. 68, no. 1, pp. 481–487.
- [16] Vilcan A., Taut I., Holonec L., Mihalte L., Sestras R.E. The variability of different larch clone provenances on the response to the attack by its main pests and fungal diseases // Trees Structure and Function, 2013, v. 27, no. 3, pp. 697–705. DOI: 10.1007/s00468-012-0825-1
- [17] Vilcan A., Mihalte L., Sestras A.F., Holonec L., Sestras R.E. Genetic variation and potential genetic resources of several Romanian larch populations // Turkish J. of Agriculture & Forestry, 2017, v. 41, no. 1, pp. 82–91. DOI: 10.3906/tar-1610-57
- [18] Williams G.M., Nelson A.S., Affleck D.L.R. Vertical distribution of foliar biomass in western larch (*Larix occidentalis*) // Canadian J. of Forest Research, 2018, v. 48, no. 1, pp. 42–57. DOI: 10.1139/cjfr-2017-0299
- [19] Бессчетнова Н. Н. Специфика клонов плюсовых деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris L.*) по содержанию основных пигментов в хвое // Лесное хозяйство и зеленое строительство в Западной Сибири. Матер. III Междунар. интернет-семинара. г. Томск, 01–31 мая 2007 г. Томск: Томский государственный университет, 2007. С. 19–24.
- [20] Бессчетнова Н.Н. Содержание основных пигментов в хвое плюсовых деревьев сосны обыкновенной // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник, 2010. № 6. (75) С. 4–10.
- [21] Бессчетнова Н.Н. Пигментный состав хвои плюсовых деревьев сосны обыкновенной в архивах клонов // Тр. факультета лесного хозяйства Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии. Нижний Новгород: Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия, 2011. № 1 (1). С. 56–65.

- [22] Бессчетнова Н.Н. Многомерная оценка плюсовых деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) по показателям пигментного состава хвои // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование, 2013. № 1 (17). С. 5–14.
- [23] Бессчетнова Н.Н. Индекс неидентичности в селекционной оценке плюсовых деревьев // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. Естественные, технические, экономические науки, 2013. № 07. С. 11–15.
- [24] Кулькова А.В., Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П. Многопараметрическая оценка таксономической близости видов ели (*Picea A. Dietr.*) по пигментному составу хвои // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование, 2018. №1(37). С. 5–18.
- [25] Бессчетнова Н.Н., Есичева Н.А. Оценка фотосинтетической способности хвои клонов плюсовых деревьев сосны лапландской (*Pinus silvestris* L. Subsp. *Larponica* Fries.) в условиях Нижегородской области // Экономические аспекты развития АПК и лесного хозяйства. Лесное хозяйство Союзного государства России и Белоруссии: Матер. междунар. науч.-практ. конф., Нижний Новгород, 26 сентября 2019 г. / под ред. Н.Н. Бессчетновой. Нижний Новгород: Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия, 2019. С. 123–131.
- [26] Бессчетнова Н.Н., Котынова М.Ю., Кентбаев Е.Ж., Кентбаева Б.А. Пигментный состав хвои туи западной (*Thuja occidentalis* L.) в озеленительных посадках г. Нижнего Новгорода // Экономические аспекты развития АПК и лесного хозяйства. Лесное хозяйство Союзного государства России и Белоруссии: Матер. междунар. науч.-практ. конференции, Нижний Новгород, 26 сентября 2019 г. / под ред. Н.Н. Бессчетновой. Нижний Новгород: Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия, 2019. С. 132–138.
- [27] Ершов П.В., Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П. Пигментный состав хвои плюсовых деревьев ели европейской // Хвойные бореальной зоны, 2017. Т. 36. № 3–4. С. 29–37.
- [28] Ершов П.В., Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П. Многомерная оценка плюсовых деревьев ели европейской (*Picea abies*) по пигментному составу хвои // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии, 2018. Вып. 233. С. 78–99.
- [29] Лугинина Л.И., Бессчетнов В.П. Пигментация хвои сеянцев ели обыкновенной (*Picea abies* L.) с закрытой корневой системой // Актуальные проблемы лесного комплекса: матер. XVIII Междунар. науч.-тех. Интернет-конференции «Лес-2017», Брянск, 1–30 мая 2017 г. Вып. 47. Под ред. Е.А. Памфилова. Брянск: БГИТУ, 2017. С. 131–137.
- [30] Самойлова Л.И., Бессчетнов В.П. Содержание пигментов в хвое сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), выращенной по различным технологиям в Республике Татарстан // Экономические аспекты развития АПК и лесного хозяйства. Лесное хозяйство Союзного государства России и Белоруссии: Матер. междунар. науч.-практ. конф., Нижний Новгород, 26 сентября 2019 г. / под общ. ред. Н. Н. Бессчетновой. Нижний Новгород: Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия, 2019. С. 212–219.
- [31] Есичев А.О. Корреляция признаков пигментного состава хвои представителей рода лиственница (*Larix* Mill.) в дендропарке Сергачского лесничества Нижегородской области // Изв. вузов. Лесной журнал, 2018. № 3. С. 43–53. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.3.43
- [32] Есичев А.О., Бессчетнова Н.Н. Изменчивость пигментного состава хвои клонов плюсовых деревьев лиственницы Сукачева (*L. Sukaczewii* Djil. sp. nov.) в ассортименте лесосеменных плантаций на примере Нижегородской области // Экономические аспекты развития АПК и лесного хозяйства. Лесное хозяйство Союзного государства России и Белоруссии: Матер. междунар. науч.-практ. конф., Нижний Новгород, 26 сентября 2019 г. / под ред. Н.Н. Бессчетновой. Нижний Новгород: Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия, 2019. С. 156–164.
- [33] Бессчетнова Н.Н. Бессчетнов В. П. Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.). Морфометрия и физиология хвои плюсовых деревьев. Нижний Новгород: Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия, 2014. 368 с.
- [34] Бессчетнова Н.Н. Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.). Эффективность отбора плюсовых деревьев. Нижний Новгород: Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия, 2016. 382 с.
- [35] Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П., Ершов П.В. Генотипическая обусловленность пигментного состава хвои плюсовых деревьев ели европейской // Изв. вузов. Лесной журнал, 2019. № 1. С. 63–76. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.1.63
- [36] Рабинович Е. Фотосинтез. В 3 т. Т. 1. Под ред. проф. Ничипоровича. Москва: Издательство иностранной литературы, 1951. С. 648.

## Сведения об авторах

**Есичев Андрей Олегович** — начальник отдела лесного планирования и цифровизации Министерства лесного хозяйства и охраны объектов животного мира Нижегородской области, andrey.esichev@mail.ru

**Бессчетнова Наталья Николаевна** — д-р с.-х. наук, доцент, декан факультета лесного хозяйства Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии, besschetnova1966@mail.ru

**Бессчетнов Владимир Петрович** — д-р биол. наук, профессор, зав. кафедрой лесных культур Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии, lesfak@mail.ru

Поступила в редакцию 12.04.2021.

Принята к публикации 14.05.2021.

## HEREDITARY DEPENDENCE OF PIGMENT COMPOSITION IN GENUS LARCH NEEDLES

A.O. Yesichev<sup>1</sup>, N.N. Besschetnova<sup>2</sup>, V.P. Besschetnov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ministry of Forestry and Wildlife Protection Nizhny Novgorod region, 2, Kostina st., 603134, Nizhny Novgorod, Russia

<sup>2</sup>Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, 97, Gagarin's av., 603107, Nizhny Novgorod, Russia

lesfak@bk.ru

The content and ratio of plastid pigments in the conifers of three species of the larch genus (*Larix* Mill.) were studied: Siberian larch (*L. sibirica* Ledeb.), Gmelin's larch (*L. Gmelinii* (Rupr.) Rupr.), Sukachev's larch (*L. Sukaczewii* Dylis). Their seed progeny is concentrated on a pilot site in the Sergachsky forestry of the Nizhny Novgorod region with geographical coordinates 55°32'14,2" N 45°28'01,0" E and an absolute height of 160 m. The site is assigned to the zone of coniferous-broad-leaved forests (the third forest-growing zone) and is included in the area of coniferous-broad-leaved (mixed) forests of the European part of the Russian Federation. The content of chlorophyll *a*, chlorophyll *b* and carotenoids in the needles was determined by spectrophotometric method at wavelengths: 665 nm, 649 nm, 452,5 nm. Samples for research were prepared in accordance with the principle of a single logical difference and randomized sample formation. Phenotypic differences in the pigment composition of needles between representatives of these species were revealed. The pigment composition of Siberian larch is dominated by chlorophyll *a* ( $3,76 \pm 0,12$  mg/g), significantly less chlorophyll *b* ( $1,87 \pm 0,07$  mg/g) and even less carotenoids ( $0,59 \pm 0,02$  mg/g). The same is observed in the pigment composition of other larch species. The hereditary conditionality of the species specificity of Siberian larch, Gmelin's larch and Sukachev's larch was established for all the tested characteristics. The greatest influence ( $29,84 \pm 1,61$  %) on the formation of the total phenotypic dispersion was observed in the ratio of the content of chlorophyll-*a* to the content of carotenoids, the least ( $5,89 \pm 2,16$  %) — in the content of dry matter in the needles. Relatively high values were obtained for the proportion of carotenoids ( $26,74 \pm 1,68$  %) and the ratio of their content to the total of chlorophylls ( $26,39 \pm 1,69$  %). The studied species showed an unequal level of similarity or significant differences in the individual characteristics of the pigment composition of needles.

**Keywords:** Larch, pigment composition, chlorophyll *a*, chlorophyll *b*, carotenoids, species specificity, hereditary conditionality

**Suggested citation:** Yesichev A.O., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P. *Nasledstvennaya obuslovlennost' pigmentnogo sostava khvoi predstaviteley roda listvennitsa* [Hereditary dependence of pigment composition in genus larch needles]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 5, pp. 5–13.

DOI: 10.18698/2542-1468-2021-5-5-13

### References

- [1] Besschetnov V.P., Besschetnova N.N., Esichev A.O. *Otsenka fiziologicheskogo sostoyaniya predstaviteley roda listvennitsa (Larix Mill.) v usloviyakh Nizhegorodskoy oblasti* [Assessment of the physiological state of representatives of the genus larch (*Larix* Mill.) in the conditions of the Nizhny Novgorod region]. *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2018, no. 1, pp. 9–17. DOI: 10.17238/issn 0536-1036. 2018.1.9
- [2] Ulitin M.M., Besschetnov V.P. *Sravnitel'naya otsenka taksatsionnykh pokazateley lesnykh kul'tur listvennitsy sibirskoy (Larix sibirica) pri introduktsii v Nizhegorodskoy oblasti* [Comparative assessment of the taxation indicators of forest crops of Siberian larch (*Larix sibirica*) during introduction in the Nizhny Novgorod region]. *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2020, no. 6, pp. 33–41. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-6-33-41
- [3] Ulitin M.M., Besschetnov V.P., Ornatskiy A.N. *Morfologicheskie pokazateli shishek listvennitsy sibirskoy v polezashchitnykh polosakh Nizhegorodskoy oblasti* [Morphological indicators of Siberian larch cones in the protective strips of the Nizhny Novgorod region]. *Ekonomicheskie aspekty razvitiya APK i lesnogo khozyaystva. Lesnoe khozyaystvo Soyuznogo gosudarstva Rossii i Belorussii: Mater. Mezhdunar. nauch.-prakt. konferentsii. Nizhny Novgorod, 26 sentyabrya 2019 g.* [Economic aspects of the development of agriculture and forestry. Forestry of the Union State of Russia and Belarus: Materials of the international scientific and practical conference: Nizhny Novgorod, September 26, 2019]. Ed. N.N. Besschetnova. Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, 2019, pp. 220–225.
- [4] Bonnet-Masimbert M., Pâques L. E., Baldet P., Philippe G. From flowering to artificial pollination in larch for breeding and seed orchard production. *The Forestry Chronicle*, 1998, v. 74, iss. 2, pp. 195–202 DOI:10.5558/tfc74195-2
- [5] Sigurdsson B.D., Magnusson B., Elmarsdottir A., Bjarnadottir B. Biomass and composition of understory vegetation and the forest floor carbon stock across Siberian larch and mountain birch chronosequences in Iceland. *Annals of Forest Science*, 2005, v. 62, no. 8, pp. 881–888. DOI: 10.1051/forest:2005079
- [6] Colas F., Perron M., Tousignant D., Parent C., Pelletier M., Lemay P. A novel approach for the operational production of hybrid larch seeds under northern climatic conditions. *The Forestry Chronicle*, 2008, v. 84, iss. 1, pp. 95–104. DOI: 10.5558/tfc84095-1
- [7] Aniszewska M. Analysis of opening cones of selected coniferous trees. *Annals of Warsaw University of Life Sciences — SGGW, Agriculture and Forest Engineering*, 2010, v. 55, pp. 57–64.
- [8] Repáč I., Tučeková A., Sarvašová I., Vencurik J. Survival and growth of outplanted seedlings of selected tree species on the High Tatra Mts. windthrow area after the first growing season. *J. of Forest Science*, 2011, v. 57, iss. 8, pp. 349–358. DOI: 10.17221/130/2010-JFS
- [9] Danek M., Chuchro M., Walanus A. Variability in Larch (*Larix Decidua* Mill.) Tree-Ring Growth Response to Climate in the Polish Carpathian Mountains. *Forests*, 2017, v. 8, iss. 10, article number 354, pp. 354 (1–22). DOI: 10.3390/f8100354



- [10] Aniszewska M., Gendek A., Zychowicz W. Analysis of Selected Physical Properties of Conifer Cones with Relevance to Energy Production Efficiency. *Forests*, 2018, v. 9, iss. 7, article number 405, pp. 405(1–12). DOI: 10.3390/f9070405
- [11] Markiewicz P. Problems with seed production of European larch in seed orchards in Poland. Seed orchards: Proceedings from a conference at Umeå, Sweden, 26–28 September 2007. Uppsala, Sweden: Publikationstjänst, 2008, pp. 161–164.
- [12] Mihai G., Teodosiu M. Genetic diversity and breeding of larch (*Larix decidua* Mill.) in Romania. *Annals of Forest Research*, 2009, v. 52, no. 1, pp. 97–108. DOI: 10.15287/afr.2009.126
- [13] Nagaike T., Hayashi A., Kubo M. Diversity of naturally regenerating tree species in the overstorey layer of *Larix kaempferi* plantations and abandoned broadleaf coppice stands in central Japan. *Forestry: An International J. of Forest Research*, 2010, v. 83, iss. 3, pp. 285–291. DOI: 10.1093/forestry/cpq011
- [14] Vilcan A., Holonec L., Tăut I., Sestras R.E. Variability of the traits of cones and seeds in different larch clones: I. The influence of the provenance. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Horticulture*, 2011, v. 68, no. 1, pp. 474–480.
- [15] Vilcan A., Holonec L., Tăut I., Sestras R.E. Variability of the traits of cones and seeds in different larch clones: II. The energy and capacity of germination of seeds. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Horticulture*, 2011, v. 68, no. 1, pp. 481–487.
- [16] Vilcan A., Taut I., Holonec L., Mihalte L., Sestras R.E. The variability of different larch clone provenances on the response to the attack by its main pests and fungal diseases. *Trees Structure and Function*, 2013, v. 27, no. 3, pp. 697–705. DOI 10.1007/s00468-012-0825-1
- [17] Vilcan A., Mihalte L., Sestras A.F., Holonec L., Sestras R.E. Genetic variation and potential genetic resources of several Romanian larch populations. *Turkish J. of Agriculture & Forestry*, 2017, v. 41, no. 1, pp. 82–91. DOI:10.3906/tar-1610-57
- [18] Williams G.M., Nelson A.S., Affleck D.L.R. Vertical distribution of foliar biomass in western larch (*Larix occidentalis*). *Canadian J. of Forest Research*, 2018, v. 48, no. 1, pp. 42–57. DOI: 10.1139/cjfr-2017-0299
- [19] Besschetnova N.N. *Spetsifika klonov plyusovykh derev'ev sosny obyknovnoy (Pinus sylvestris L.) po sodержaniyu osnovnykh pigmentov v khvoe* [Specificity of clones of plus trees of scots pine (*Pinus sylvestris* L.) according to the content of basic pigments in conifers]. *Lesnoe khozyaystvo i zelenoe stroitel'stvo v Zapadnoy Sibiri. Mater. III Mezhdunar. internet-seminara. g. Tomsk, 01–31 maya 2007 g.* [Forestry and green construction in Western Siberia. Materials of the III International Internet Seminar: Tomsk, May 01-31, 2007]. Tomsk: Tomsk State University, 2007, pp. 19–24.
- [20] Besschetnova N.N. *Soderzhanie osnovnykh pigmentov v khvoe plyusovykh derev'ev sosny obyknovnoy* [The content of the main pigments in the needles of the plus trees of Scots pine]. *Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik*, 2010, no. 6 (75), pp. 4–10.
- [21] Besschetnova N.N. *Pigmentnyy sostav khvoi plyusovykh derev'ev sosny obyknovnoy v arkhivakh klonov* [Pigmental composition of needles of plus trees of scots pine in the archives of clones]. *Trudy fakul'teta lesnogo khozyaystva Nizhegorodskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [Proceedings of the Faculty of Forestry of the Nizhny Novgorod State Agricultural Academy. Collection of scientific articles. Nizhny Novgorod]. Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, 2011, no. 1 (1), pp. 56–65.
- [22] Besschetnova N.N. *Mnogomernaya otsenka plyusovykh derev'ev sosny obyknovnoy (Pinus sylvestris L.) po pokazatelyam pigmentnogo sostava khvoi* [Multivariate evaluation of plus trees of scots pine (*Pinus sylvestris* L.) according to the indicators of the pigment composition of needles]. *Vestnik MarGTU. Seriya: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie* [Bulletin of the Mari State Technological University. Series: Forest. Ecology. Nature Management], 2013, no. 1 (17), pp. 5–14.
- [23] Besschetnova N.N. *Indeks neidentichnosti v selektsionnoy otsenke plyusovykh derev'ev* [Index of non-identity in the selection evaluation of plus trees]. *Vestnik Saratovskogo GAU im. N.I. Vavilova. Estestvennye, tekhnicheskie, ekonomicheskie nauki* [Bulletin of the Saratov State Agrarian University named after N. I. Vavilov. Natural, technical, and economic sciences], 2013, no. 07, pp. 11–15.
- [24] Kul'kova A.V., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P. *Mnogoparametricheskaya otsenka taksonomicheskoy blizosti vidov eli (Picea A. Dietr.) po pigmentnomu sostavu khvoi* [Multiparametric assessment of the taxonomic proximity of spruce species (*Picea A. Dietr.*) by the pigment composition of needles]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie* [Bulletin of the Volga State Technological University. Series: Forest. Ecology. Nature Management], 2018, no. 1(37), pp. 5–18.
- [25] Besschetnova N.N., Esicheva N.A. *Otsenka fotosinteticheskoy sposobnosti khvoi klonov plyusovykh derev'ev sosny laplandskoy (Pinus silvestris L. Subsp. Lapponica Fries.) v usloviyakh Nizhegorodskoy* [Assessment of the photosynthetic ability of needles of clones of plus trees of the Lapland pine (*Pinus silvestris* L. Subsp. Lapponica Fries.) in the conditions of the Nizhny Novgorod region]. *Ekonomicheskie aspekty razvitiya APK i lesnogo khozyaystva. Lesnoe khozyaystvo Soyuznogo gosudarstva Rossii i Belorussii. Mater. mezhdunar. nauch.-prakt. konferentsii* [Economic aspects of the development of agriculture and forestry. Forestry of the Union State of Russia and Belarus. Materials international scientific and practical conferences]. Nizhny Novgorod, September 26, 2019. Ed. N.N. Besschetnova. Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, 2019, pp. 123–131.
- [26] Besschetnova N.N., Kotynova M.Yu., Kentbaeva B.A. *Pigmentnyy sostav khvoi tui zapadnoy (Thuja occidentalis L.) v ozelenitel'nykh posadkakh g. Nizhnego Novgoroda* [Pigment composition of Thuja occidentalis L. needles in landscaping plantings in Nizhny Novgorod]. *Ekonomicheskie aspekty razvitiya APK i lesnogo khozyaystva. Lesnoe khozyaystvo Soyuznogo gosudarstva Rossii i Belorussii. Mater. mezhdunar. nauch.-prakt. konferentsii* [Economic aspects of the development of agriculture and forestry. Forestry of the Union State of Russia and Belarus. Materials international scientific and practical conferences]. Nizhny Novgorod, September 26, 2019. Ed. N.N. Besschetnova. Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, 2019, pp. 132–138.
- [27] Ershov P.V., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P. *Pigmentnyy sostav khvoi plyusovykh derev'ev eli evropeyskoy* [Pigmentary composition of needles of plus trees of Norway spruce]. *Khvoynye boreal'noy zony* [Coniferous boreal zones], 2017, t. XXXVI, no. 3–4, pp. 29–37.

- [28] Ershov P.V., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P. *Mnogomernaya otsenka plyusovykh derev'ev eli evropeyskoy (Picea abies) po pigmentnomu sostavu khvoi* [Multidimensional assessment of plus trees of Norway spruce (*Picea abies*) according to the pigment composition of needles]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [Proceedings of the St. Petersburg Forestry Academy], 2018, v. 233, pp. 78–99.
- [29] Luginina L.I., Besschetnov V.P. *Pigmentatsiya khvoi seyantsev eli obyknovennoy (Picea abies L.) s zakrytoy kornevoy sistemoy* [Pigmentation of needles of seedlings of common spruce (*Picea abies* L.) with a closed root system]. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa: mater. XVIII Mezhdunar. nauch.-tekh. Internet-konferentsii «Les–2017»* [Actual problems of the forest complex: Materials of the XVIII International Scientific and Technical Conference. Internet conferences «Les–2017»]. Bryansk, May 1–30, 2017. Ed. E.A. Pamfilov. Bryansk: BGITU, 2017, iss. 47, pp. 131–137.
- [30] Samoylova L.I., Besschetnov V.P. *Soderzhanie pigmentov v khvoe sosny obyknovennoy (Pinus sylvestris L.), vyrashchennoy po razlichnym tekhnologiyam v Respublike Tatarstan* [The content of pigments in the coniferous pine (*Pinus sylvestris* L.) grown by various technologies in the Republic of Tatarstan]. *Ekonomicheskie aspekty razvitiya APK i lesnogo khozyaystva. Lesnoe khozyaystvo Soyuznogo gosudarstva Rossii i Belorussii. Mater. Mezhdunar. nauch.-prakt. konferentsii* [Economic aspects of the development of agriculture and forestry. Forestry of the Union State of Russia and Belarus. Materials international scientific and practical conferences]. Nizhny Novgorod, September 26, 2019. Ed. N.N. Besschetnova. Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, 2019, pp. 212–219.
- [31] Esichev A.O. *Korrelyatsiya priznakov pigmentnogo sostava khvoi predstaviteley roda listvennitsa (Larix Mill.) v dendroparke Sergachskogo lesnichestva Nizhegorodskoy oblasti* [Correlation of signs of the pigment composition of needles of representatives of the genus larch (*Larix* Mill.) in the arboretum of the Sergachsky forest district of the Nizhny Novgorod region]. *Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal)*, 2018, no. 3, pp. 43–53. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.3.43
- [32] Esichev A.O., Besschetnova N.N. *Izmenchivost' pigmentnogo sostava khvoi klonov plyusovykh derev'ev listvennitsy Sukacheva (L. Sukaczewii Djil. spec. nov.) v assortimente lesosemennykh plantatsiy na primere Nizhegorodskoy oblasti* [Variability of the pigment composition of needles of clones of Sukachev's larch (*L. Sukaczewii* Djil. spec. nov.) plus trees in the assortment of forest-seed plantations on the example of the Nizhny Novgorod region]. *Ekonomicheskie aspekty razvitiya APK i lesnogo khozyaystva. Lesnoe khozyaystvo Soyuznogo gosudarstva Rossii i Belorussii. Mater. mezhdunar. nauch.-prakt. konferentsii* [Economic aspects of the development of agriculture and forestry. Forestry of the Union State of Russia and Belarus. Materials international scientific and practical conferences]. Nizhny Novgorod, September 26, 2019. Ed. N.N. Besschetnova. Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, 2019, pp. 156–164.
- [33] Besschetnova N.N., Besschetnov V.P. *Sosna obyknovennaya (Pinus sylvestris L.). Morfometriya i fiziologiya khvoi plyusovykh derev'ev* [Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). Morphometry and physiology of the needles of plus trees]. Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, 2014, 369 p.
- [34] Besschetnova N.N. *Sosna obyknovennaya (Pinus sylvestris L.). Effektivnost' otbora plyusovykh derev'ev* [Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). Efficiency of selection of plus trees]. Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, 2016, 464 p.
- [35] Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Ershov P.V. *Genotipicheskaya obuslovlennost' pigmentnogo sostava khvoi plyusovykh derev'ev eli evropeyskoy* [Genotypic conditionality of the pigment composition of the needles of plus trees of Norway spruce]. *Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal)*, 2019, no. 1, pp. 63–76. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.1.63
- [36] Rabinovich E. *Fotosintez* [Photosynthesis]. In 3 v., v. 1. Moscow: Izdatel'stvo inostrannoy literatury, 1951, p. 648.

## Authors' information

**Esichev Andrey Olegovic** — Head of the Department of Forest Planning and Digitalization of the Ministry of Forestry and Wildlife Protection of the Nizhny Novgorod Region, andrey.esichev@mail.ru

**Besschetnova Natal'ya Nikolaevna** — Dr. Sci. (Agriculture), Associate Professor, Dean of the Faculty of Forestry of the Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, besschetnova1966@mail.ru

**Besschetnov Vladimir Petrovich** — Dr. Sci. (Biology), Professor, Head of the Department of Forest crops of the Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, lesfak@mail.ru

Received 12.04.2021.

Accepted for publication 14.05.2021.

УДК 630.221.04

DOI: 10.18698/2542-1468-2021-5-14-21

## ЕСТЕСТВЕННОЕ ВОЗОБНОВЛЕНИЕ БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ (*BETULA PENDULA* ROTH.) В ЛЕСОТЕПНОЙ ЗОНЕ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

И.К. Сингатуллин, Ш.Ш. Шайхразиев, С.Г. Глушко

ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», 420075, г. Казань, п. Дербышки, ул. Главная, д. 69, к. 1  
betula2@mail.ru

Выявлена прямая зависимость порослевого возобновления березы от диаметра ствола дерева, возраста рубки, лесорастительных условий, семенного возобновления, почвенно-климатических условий и степени минерализации почвы. Установлено, что после гибели березы возрастом 30 лет вследствие засухи 2010 г. у 10 % деревьев на участке появилась пневая поросль. Определены причины вегетативного возобновления, которое преимущественно происходит: по ступени толщины — у деревьев с диаметром ствола до 22 см или по категории состояния — у сухостойных (70 % общего количества поросли). Обнаружены отсутствие подростка березы семенного происхождения в результате развития сильного задернения почвы и преобладания в усыхающих березовых насаждениях подростка липы мелколистной и осины порослевого происхождения, клена остролистного семенного происхождения, а также дуба семенного происхождения, за которым необходим уход. Для успешного семенного возобновления березы при благоприятных климатических условиях рекомендуется проведение минерализации почвы не менее 50 % общей площади. При ведении хозяйства на вегетативное размножение необходимо проведение рубки березы не старше 40 лет, а при утрате полезных свойств в березняках возрастом свыше 71 года в защитных лесах рекомендуем применение сплошной, а не выборочной рубки.

**Ключевые слова:** естественное возобновление, береза повислая, подрост, рубка, Республика Татарстан

**Ссылка для цитирования:** Сингатуллин И.К., Шайхразиев Ш.Ш., Глушко С.Г. Естественное возобновление березы повислой (*Betula pendula* Roth.) в лесостепной зоне Республики Татарстан // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 5. С. 14–21. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-5-14-21

Леса Республики Татарстан расположены в двух лесорастительных зонах — зоне хвойно-широколиственных лесов и в лесостепной зоне (Приказ МПР РФ от 18 августа 2014 г. № 367 «Об утверждении перечня лесорастительных зон Российской Федерации и Перечня лесных районов Российской Федерации»). Согласно лесохозяйственному районированию, в лесостепной зоне выделено три ландшафтных района: Предволжский, Закамский и Закамский возвышенный [1]. Березовые леса Республики Татарстан, по данным на 01.01.2020 г., занимают 205,1 тыс. га (16,6 % общей площади гослесфонда Республики Татарстан) и наиболее распространены в Закамском возвышенном ландшафтном районе, отнесены в основном к защитным лесам. Распределение березы по возрастным группам неравномерное: молодняки — 5,2 %, средневозрастные — 42,9, приспевающие — 23,5, спелые и перестойные — 28,4 %. Доля приспевающих, спелых и перестойных древостоев, вырубка и лесовосстановление которых должны произойти в ближайшие 20 лет, составляет более 50 %. В отличие от соседней Удмуртской Республики, где распределение насаждений по группам возраста носит довольно пестрый характер, а спелые и перестойные насаждения занимают всего 13 % [2], возрастная структура березовых насаждений показала относительную равномерность их распределения по группам возраста, что облегчает долгосроч-

ное планирование устойчивого лесопользования в Республике Татарстан. Небольшая доля молодняков связана с тем, что после вырубki береза заменяется преимущественно на культуры хвойных пород. Вследствие неблагоприятных почвенно-климатических условий и задернения почвы отсутствует ее семенное возобновление, а порослевую способность она теряет после 40 лет (возраст спелости березы в эксплуатационных лесах составляет 61 год, защитных — 71 год). Это приводит к замене березовых насаждений на кленовые и осиновые, что резко ухудшает товарную структуру лесосечного фонда [3].

Естественное возобновление березы возможно семенным и вегетативным способом. Генеративное размножение основано на обильном плодоношении, распространении семян на значительные территории и при благоприятных условиях быстрой их прорастании [3–10].

Сложность сохранения всходов березы состоит в их чувствительности как к солнечному припеку и пересыханию почвы, так и к сильному дождю и образованию корки, выжиманию морозами, обмерзанию надземной части, поражению болезнями. Это обусловлено ничтожным запасом питательных веществ в семени, отсутствием стержневого корня [11–15].

Наряду с семенным березе свойственно порослевое размножение. Данные по характеристике этой способности березы приведены во многих



литературных источниках [16–19]. Большинство исследователей констатируют раннюю потерю березой порослевой способности. Следовательно, ее насаждения после 40 лет при усыхании или вырубке в спелом и перестойном возрасте не могут активно возобновляться вегетативным путем.

В результате многолетних исследований, более чем на 30 опытных объектах нами было установлено, что семенное возобновление березняков после рубки может быть успешным при сочетании трех факторов — обильного плодоношения, благоприятных погодных условий (влажности и температуры воздуха) в период вегетации в течение первых 2 лет. Благоприятствует возобновлению и минерализация почвы (до вылета семян) на более 50 % лесокультурной площади бульдозерными полосами, с шириной полос 3–4 м, что обеспечивает лучшую выживаемость и сохранность самосева [20]. Благоприятные для семенного размножения условия случаются один раз за период примерно в 7...10 лет [21].

По «Правилам заготовки древесины» (Приказ МПР РФ от 1 декабря 2020 г. № 993 «Об утверждении Правил заготовки древесины и особенностей заготовки древесины в лесничествах, лесопарках, указанных в статье 23 Лесного кодекса Российской Федерации»), выборочные рубки проводятся в несколько приемов, при этом заключительный прием проводится только после формирования на лесосеке жизнеспособного молодняка, обеспечивающего формирование лесных насаждений. Речь здесь может идти только о естественном возобновлении, поскольку создание лесных культур после первого приема всех выборочных рубок, кроме узколесосечного и длительно-постепенного, в условиях Закамья недопустимо, прежде всего, по причине невозможности проведения на практике второго и последующих приемов рубок спелого леса по созданным лесным культурам.

## Цель работы

Цель работы — изучение особенностей естественного возобновления березы в лесостепной зоне Республики Татарстан после усыхания березы от засухи 2010 г. и проведения рубок спелого леса, так как восстановление березняков — актуальная и важнейшая задача для лесоводов Татарстана.

## Объекты и методы

Объектами исследования послужили березовые насаждения, подвергшиеся усыханию после засухи 2010 г. и вырубке после проведения сплошных и выборочных рубок. Закладку постоянных и временных пробных площадей и таксацию древостоев осуществляли в наиболее характерных лесных массивах, выявленных в

том числе дистанционными методами [22, 23]. Учет самосева и подроста на учетных площадках размером 5×5 м, закладываемых методом случайной выборки, проводили с разделением по породам, категориям высоты и состоянию. Обработка материала проведена на ПК стандартными методами с использованием прикладных программ математической статистики [24]. Анализ возобновления в березовых насаждениях, подвергшихся усыханию после 2010 г., был проведен дополнительно на основе поведельной базы данных материалов лесоустройства 2014–2017 гг. по трем лесничествам (более 2,5 тыс. выделов). Для обработки полученной базы данных применяли разработанный метод анализа таксационных описаний насаждений [11]. Всего проанализированы данные возобновления березы на площади порядка 25 тыс. га.

## Результаты и обсуждение

На больших площадях в лесостепной зоне произошло массовое усыхание спелых и перестойных березняков вследствие резкого снижения уровня грунтовых вод летом и осенью 2010 г. и последующего заражения бактериальной водяной [25–27]. Анализ материалов лесоустройства свидетельствует о неудовлетворительном возобновлении березняков после усыхания в Закамском возвышенном ландшафтном районе: крупный подрост — 10Кл, средний — 8Кл2Дн, мелкий — 5Дн3Б1Ос1Кл. Подрост имелся в 16 % насаждений березы, пострадавших от засухи.

В результате проведенного нами исследования установлено, что в смешанных древостоях березы

Т а б л и ц а 1

### Породный состав в березняках до усыхания, состав и количество подроста после усыхания

Species composition in birch forests before drying out, composition and amount of undergrowth after drying out

Наименование лесничества	Древостой	Подрост	Количество подроста, тыс. шт./га
Бугульминское 1	10Б+Дн+Лп	8Д1Лп1Кл	2,7 ± 0,31
Бугульминское 2	7Б2Дн1Ос	8Д2Ос+В	2,5 ± 0, 22
Азнакаевское	8Б2Дн	10Д	2,4 ± 0,24
Альметьевское, Поташно-Полянское	10Б+Лп	3Кл3Б2Ос2Лп	9,8 ± 1,02
Калейкинское, Мактаминское	10Б	7Кл2Лп1Б+Д	7,0 ± 0,66
Юхмачинское 1	5Б3Ос2Лп	6Ос3Кл1Б+Лп	15,4 ± 1,35
Юхмачинское 2	8Б2Ос	8Ос1Кл1Лп+В	11,1 ± 1,12

Т а б л и ц а 2

## Порослевое возобновление березы по ступеням толщины по состоянию на 2013 и 2017 гг.

## Coppice regeneration of birch by thickness as of 2013 and 2017

Ступени толщины ствола, см	2013					2017	
	ослабленные, шт.	сильно ослабленные, шт.	свежий сухостой, шт.	итого		старый сухостой	
				шт.	%	шт.	%
12	1	–	5	6	35	4	40
14	1	1	5	7	41	4	40
18	1	–	1	2	12	1	20
20	–	1	–	1	6	1	20
22	–	–	1	1	6	–	–
Итого, шт.	3	2	12	17	100	10	100
%	18	12	71	100	–	–	–

Т а б л и ц а 3

## Таксационная характеристика древостоев до рубки и подроста после проведения сплошной рубки

## Taxation characteristics of forest stands before felling and undergrowth after clear felling

Участковое лесничество, номер квартала; выдела	Состав древостоя до рубки (по данным лесоустройства)	Площадь древостоя, га	Возраст, лет	Тип лесорас- тительных условий	Характеристика подроста	
				тип леса	породный состав	количество, тыс. шт./га
Ютазинское, 131; 10	10Б+Д	2,6	71	Д1 Бкл	10Б+Д	0,3 ± 0,05
Петровское, 2; 12	10Б	4,6	51	Д2 Бяс	10Б	1,1 ± 0,11
Бугульминское, 12; 6	10Б	4,3	51	С3 Бтав	6Б4Лп	9,0 ± 0,92

*Примечание.* Типы леса: Бкл — березняк кленовый, Бяс — березняк ясенниковый, Бтав — березняк таволговый.

с дубом после усыхания березы в условиях сухой дубравы в Закамском возвышенном районе под пологом появляется подрост дуба семенного происхождения, который после 2...3 лет в основном погибает вследствие недостатка света. В осиново-березовых насаждениях в условиях свежей дубравы этого района подрост состоит большей частью из осины и липы порослевого происхождения. Во всех исследованных лесных участках семенное возобновление березы отсутствовало, отмечено порослевое возобновление березы в небольшом количестве (табл. 1).

Динамика изменения состояния березы и возобновления была исследована в 2013–2017 гг. на объекте в Калейкинском лесничестве, расположенном в Бутинском участковом лесничестве, квартал 73, выдел 23, площадь 4,9 га. Лесные культуры — 10Б, возраст 30 лет. Тип леса — березняк осоковый, тип лесорастительных условий — С<sub>2</sub>, относительная полнота 0,9.

Усыхание березы началось в 2011 г. и продолжалось в 2013–2017 гг. При этом изменялись освещенность под пологом леса и состав подроста — кроме порослевого появился в большом количестве подрост клена семенного происхождения.

Анализ порослевого возобновления усыхающей березы в 2013 г. показал, что у 10 % деревьев на участке появилась пневая поросль. Вегетатив-

ное возобновление больше происходит: по ступени толщины у деревьев меньших по диаметру ствола, по категории состояния деревьев — у сухостойных, у ослабленных 17 %, у сильно ослабленных 13 %. Отсутствует пневая поросль у здоровых. Данные учета порослевого возобновления березы 2017 г. на пробной площади показали, что часть поросли после 2013 г. погибла (табл. 2).

После 2013 г. и гибели 50 % деревьев под пологом оставшегося древостоя в значительном количестве появился подрост клена остролистного семенного происхождения. По данным учета возобновления 2017 г., состав подроста 7Кл2Лп1Б+Д, его количество — 7,02 ± 0,9 тыс. шт./га.

Порослевое возобновление березы после проведения выборочных и сплошных рубок разного возраста в различных лесорастительных условиях было изучено в ГКУ «Бугульминское лесничество». Выборочные рубки проводили двумя способами: 1) на объекте № 1 равномерно-постепенная с выборкой 50 % запаса; 2) узколесосечная на объекте № 2 — пасека 30 м с оставлением кулисы 30 м.

Объект № 1. Петровское участковое лесничество. Квартал № 58, выдел 23, площадь 4,9 га. Состав 10Б, возраст 51 год. Тип леса — березняк ясенниковый, тип лесорастительных условий — С<sub>2</sub>, полнота 0,6.

После проведения первого приема постепенной рубки порослевое возобновление появилось только на 18 % срубленных деревьев, т. е. оно практически отсутствует, что объясняется утратой порослевой способности березы в этих условиях к возрасту рубки и недостаточным для роста молодняка березы освещением.

Объект № 2. Ютазинское участковое лесничество. Квартал № 131, выдел 23, площадь 4,9 га. Состав — 10Б, возраст 51 год. Тип леса — березняк ясенниковый, тип лесорастительных условий — Д<sub>2</sub>, полнота 0,6.

После проведения узколесосечной рубки возобновление появилось у 30 % вырубленных деревьев, из них 70 % поросли на пнях с диаметром до 32 см, количество подроста на одном пне изменялось от 6 до 30 шт., взаимосвязи количества подроста на одном пне с диаметром дерева не выявлено.

Исследование порослевого возобновления после проведения сплошных рубок в различных лесорастительных условиях было изучено на трех объектах Бугульминского лесничества. В результате обработки полученных данных была выявлена прямая взаимосвязь количества подроста с гиротопом участка (табл. 3).

В условиях сухой дубравы в березняке кленовом после вырубки березы в защитных лесах поросль березы появилась только у 1 % вырубленных деревьев, что связано в первую очередь с возрастом рубки — 71 год. По причине сильного задернения почвы и недостаточной увлажненности семенное возобновление отсутствует [28].

На объекте № 2 в условиях свежей дубравы в березняке ясенниковом поросль имеется у 30 % вырубленных деревьев, что недостаточно для формирования древостоя. Семенное возобновление отсутствует (рис. 1).

Успешным можно считать возобновление в чистых березняках таволговых в условиях влажной сурамени С<sub>3</sub>, где количество пневой поросли березы и липы после сплошной рубки составило 9 тыс. шт./га (табл. 4). В то же время созданные на данной площади культуры сосны и лиственницы погибли в результате сильного зарастания лесосек травой и подтоплением. Все эти факты свидетельствуют о взаимосвязи порослевого возобновления березы с возрастом рубки и условиями местопроизрастания — успешное порослевое возобновление березы в лесостепной зоне Республики Татарстан возможно при рубке в возрасте до 40 лет во влажных условиях местопроизрастания.

Семенное возобновление березы при разных технологиях сплошной рубки было изучено в Тимерликовском участковом лесничестве Нурлатского лесничества. Лесорастительные условия данного лесничества характеризуются достаточ-

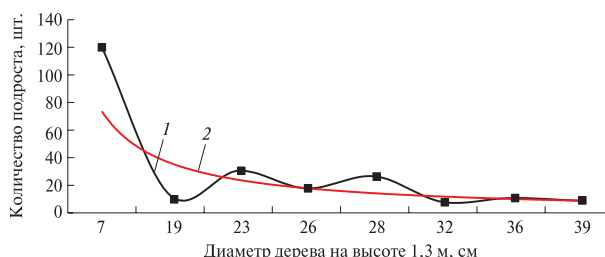


Рис. 1. Зависимость количества подроста от диаметра пня на объекте № 2: 1 — количество подроста, фактическое; 2 — линия тренда

Fig. 1. Dependence of the undergrowth on the diameter of the stump at object No. 2: 1 — the amount of undergrowth, actual; 2 — trend line

Т а б л и ц а 4

**Распределение порослевого возобновления березы в зависимости от диаметра пней и лесорастительных условий (% относительно количества пней)**

**Distribution of birch growth regeneration depending on the diameter of stumps and forest growing conditions (% relative to the number of stumps)**

Диаметр пня, см	Березняк кленовый Д <sub>1</sub>	Березняк ясенниковый Д <sub>2</sub>	Березняк таволговый С <sub>3</sub>
12	93,3	100	100
16	0	100	100
20	0	0	100
24	0	100	100
28	16,7	50	54,5
32	26,3	50	14,3
36	6	47,1	42,9
40	9,5	10,0	42,3
44	4,8	16,7	40
48	9	0	50
52	3,3	0	12
Итого	17,9	29,5	70,3

ным увлажнением, в древостоях преобладает осина (табл. 5).

Сплошная рубка березы возрастом 41 год была проведена в первом случае комплексной бригадой в количестве 4 чел., с трелевкой хлыстов тракторами «Беларусь» за комель и раскряжевкой на погрузочной площадке. На объекте № 2 заготовка проводилась агрегатной техникой — харвестером и форвардером марки «Амкадор». В первом случае в составе подроста имеется береза семенного происхождения по высотной категории в основном мелкая. Это связано с минерализацией почвы при трелевке древесины. В аналогичных условиях на объекте № 2 при отсутствии минерализации

Т а б л и ц а 5

### Таксационная характеристика древостоя до рубки и подроста после проведения сплошной рубки

Taxation characteristics of forest stand before felling and undergrowth after clear felling

Показатели	Квар-тал	Выдел	Квар-тал	Выдел
	90	22	97	1
Состав древостоя до рубки (по данным лесоустройства)	70сЗБ		80с1Б1Лп	
Относительная полнота	0,7		0,8	
Характеристика подроста:				
породный состав	50сЗБ1Лп1Кл		80с2Кл+Д+Б	
количество, тыс. шт./га	18,8 ± 1,9		29,3 ± 3,1	

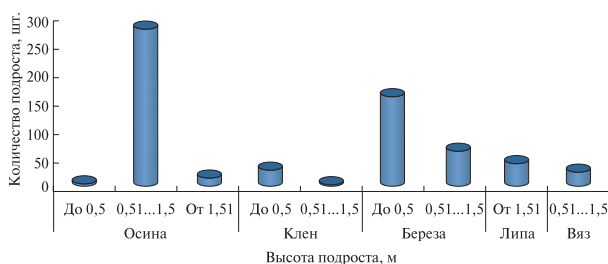


Рис. 2. Распределение подроста в квартале 90 по породам и по категориям крупности (всего по учетным площадкам)

Fig. 2. Distribution of undergrowth in quadrant 90 by species and size categories (total by survey sites)

почвы подрост березы семенного происхождения отсутствует. На объектах № 1 и № 2 преобладает осина порослевого происхождения, которая за первый год дала прирост до 2,0 м (рис. 2).

На важность минерализации почвы при семенном возобновлении березы указывают данные по учету естественного возобновления в Бавлинском и других лесничествах, где после сплошных санитарных рубок березняков при отсутствии минерализации формируется древостой состава 10Кл. На лесных участках после проведения минерализации почвы плугом ПЛ-1 появляется семенное возобновление березы.

В чистых березняках при отсутствии благоприятных условий для семенного и порослевого возобновления эффективным способом лесовосстановления является посадка леса. Согласно «Правилам заготовки древесины», если выборочные рубки не обеспечивают замену лесных насаждений, утрачивающих свои средообразующие, водоохранные, санитарно-гигиенические, оздоровительные и иные полезные функции, при утрате лесом свойств и искусственном лесовосстановлении в защитных лесах «возможно применение сплошных рубок».

Внедрение этого в лесное хозяйство удешевляет стоимость заготовки древесины и сокращает срок лесовосстановления. На данный момент это положение работниками лесной отрасли Республики Татарстан не применяется.

### Выводы

1. Особенностью березовых лесов лесостепной зоны Республики Татарстан является преобладание старовозрастных насаждений порослевого происхождения, доля молодняков составляет 5%. Восстановление дуба и березы является первоочередной задачей лесоводов и возможно только при проведении мер содействия естественному возобновлению или искусственном лесовосстановлении с учетом биологических особенностей пород.

2. После засухи 2010 г. под пологом усыхающих древостоев березы семенное возобновление отсутствует. Порослевое возобновление появилось главным образом у сухостойных деревьев с диаметром ствола до 22 см. При отсутствии мер содействия происходит замена березы на клен, осину и липу.

3. Препятствием для семенного возобновления березы являются в первую очередь живой напочвенный покров и климатические условия. Необходимо проведение минерализации почвы на 50% лесокультурной площади, с проведением минерализации до вылета семян.

4. Выявлена прямая зависимость порослевого возобновления березы от возраста рубки (лучшее до 40 лет), лесорастительных условий (успешнее в С<sub>3</sub>) и диаметра ствола дерева (большее до 32 см).

5. При отсутствии естественного возобновления березы необходимо искусственное лесовосстановление. При утрате своих полезных свойств в березняках возрастом свыше 71 года в защитных лесах рекомендуем применение сплошной рубки.

### Список литературы

- [1] Рекомендации по ведению лесного хозяйства Татарской АССР на зонально-типологической основе. М.: Изд-во ВНИИЛМ, 1985. 45 с.
- [2] Поздеев Д.А., Петров А.А. Использование расчетной лесосеки березовой хозсекции в Удмуртской Республике // Леса Евразии — Белорусское Поозерье: Матер. XII Междунар. конф. молодых ученых, посвященной 145-летию со дня рождения профессора Г.Ф. Морозова / под ред. В.Г. Санаева. М.: МГУЛ, 2012. С. 98–99.
- [3] Singatullin, I.K. Khakimova Z., Chernov V., Davletshin R. The influence of climatic factors on the succession processes in the forests of the forest-steppe zone of the Republic of Tatarstan // BIO Web of Conferences. International Scientific-Practical Conference «Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources» (FIES 2019), 2020, v. 17, no. 00037. DOI: <https://doi.org/10.1051/bioconf/20201700037>



- [4] Калинин К.К. Естественное лесовозобновление и формирование молодняков в еловых и березовых насаждениях на крупных гарях Среднего Заволжья // Вестник МарГТУ, 2010. № 1. Лес. Экология. Природопользование. С. 5–15.
- [5] Коновалов В.Ф. Селекция и разведение березы повислой на Южном Урале. М.: МГУЛ, 2002. 298 с.
- [6] Музафарова А.А., Гасымов Р.Т., Галеев Э.И. Возобновление березы повислой на промышленных отвалах в Башкирском Зауралье // Вестник БГАУ, 2013. № 1. С. 97–99.
- [7] Потапенко А.М. Оценка лесовозобновительной способности березняков южной части Беларуси // Леса России и хозяйство в них, 2017. № 3(62). С. 35–41.
- [8] Raulo J., Koski V. Growth of *Betula pendula* Roth progenies in southern central Einland // Metsantutkimuslatokjulk, 1977, bd. 90, no. 1/6, pp. 1–39.
- [9] Harper J.L. Population biology of plants. London, New York : Academic Press, 1977, 892 p.
- [10] Skenderovic J. Neke sumskouzgojne osobine obicne breze (*Betula pendula* Roth.) u Panonskom gorju Hrvatske // Glas. Sumske pokuse, 1990, no. 26, pp. 361–377.
- [11] Демаков Ю.П. Методика использования таксационных описаний насаждений для анализа структуры и динамики древостоев // Наука в условиях современности. Йошкар-Ола: Изд-во МарГТУ, 2009. С. 6–8.
- [12] Денисов С.А. Динамика формационной структуры березняков в связи с их онтогенезом в различных эдапах в Среднем Поволжье // Вестник МарГТУ. Лес. Экология. Природопользование, 2009. № 3. С. 13–27.
- [13] Чижов Б.Е., Агафонов Е.Ю., Козинец В.А. Особенности семенного возобновления берез лесостепи Западной Сибири // Леса и лесное хозяйство Западной Сибири. Вып. 8. Тюмень: Изд-во Тюменского государственного университета, 2008. С. 104–111.
- [14] Gunther N. Entwicklungsmechanismen in der Gattung *Betula* L. (*Birke*) // Gleditschia, 1993, v. 21, no. 2, pp. 167–180.
- [15] Wagner S., Lundqvist L. Regeneration techniques and the seedling environment from a European perspective // Restoration of boreal and temperate forests. Boca Raton: CRC Press, 2005, pp. 153–171.
- [16] Лохматов Н.А. Причины ранней потери березой бородавчатой порослевой способности // Лесное хозяйство, 1953. № 2. С. 42–44.
- [17] Подшивалов В.А., Агафонов Е.Ю., Шамрай В.М., Козинец В.А. Вегетативное возобновление берез в лесостепи Западной Сибири // Леса и лесное хозяйство Западной Сибири. Вып. 8. Тюмень: Изд-во Тюменского государственного университета, 2008. С. 147–153.
- [18] Штоль В.А. Особенности вегетативного возобновления березняков лесостепи Западной Сибири // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование, 2016. Т. 2. № 1. С. 92–103.
- [19] Duro R., Slavko M. Istrazivanje vegetacij skiniuzgojnih problema obicne breze (*Betula pendula* Roth.) napodrucju Pozedei Slatine // Glas. Sumske pokuse, 1994, no. 30, pp. 337–380.
- [20] Краснобаева К.В. Рекомендации по ведению хозяйства в березняках подзоны смешанных лесов и лесостепи (на примере республики Татарстан). Казань: Идел-Пресс, 2002. 32 с.
- [21] Краснобаева К.В., Митяшина С.Ю., Лукин И.Ф., Сингатуллин И.К. Динамика плодоношения березы повислой // Лесное хозяйство, 2007. № 1. С. 33–34.
- [22] Galiullin I.R., Glushko S.G., Khamitova S.M., Pestovskiy A.S., Fedchenko E.I., Ivanova M.A. Issues of satellite images decoding in modern development of forest management // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2020, v. 507, no. 012004. DOI:10.1088/1755-1315/507/1/012004
- [23] Dmitriev E.V., Kozoderov V.V., Demytyev A.O., Safonova A.N. Combining Classifiers in the Problem of Thematic Processing of Hyperspectral Aerospace Images // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing, 2018, v. 54 (3), pp. 213–221.
- [24] Белов С.В. Применение методов математической статистики при учете естественного возобновления // Лесоводство, лесные культуры и почвоведение. Л.: Изд-во ЛТА, 1973. Вып. 2. С. 3–11.
- [25] Газизуллин А.Х., Сингатуллин И.К. Состояние березняков Возвышенного Заволжья Республики Татарстан после засухи 2010 года // Вестник Казанского государственного аграрного университета, 2014. № 2. С. 99–103. DOI 10.12737/5351
- [26] Сингатуллин, И.К. Влияние засухи 2010 года на состояние лесов Республики Татарстан // Вестник Казанского государственного аграрного университета, 2018. № 3. С. 40–45. DOI 10.12737/article\_5bcf556f0c95a9.28220424
- [27] Швец М.В. Бактериальная водянка березы повислой (*Betula pendula* Roth.) в Житомирском Полесье Украины // ИВУЗ Лесной журнал, 2017. № 4. С. 84–94. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.84
- [28] Данченко А.М., Трофименко Н.М. Экология семенного разведения березы. Новосибирск: Наука, 1993. 181 с.

## Сведения об авторах

**Сингатуллин Ирек Кирамович** — канд. с.-х. наук, доцент кафедры лесоводства и лесных культур ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», betula2@mail.ru

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

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

Поступила в редакцию 30.04.2021.

Принята к публикации 01.07.2021.

## BETULA PENDULA ROTH. NATURAL REGENERATION IN FOREST-STEPPE ZONE OF TATARSTAN REPUBLIC

I.K. Singatullin, Sh.Sh. Shakhraziev, S.G. Glushko

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

betula2@mail.ru

A direct dependence of the birch coppice regeneration on the diameter of the tree trunk, felling age, forest growth conditions, seed regeneration, soil and climatic conditions and the degree of soil mineralization has been revealed. It was found that after the dying of a 30-year-old birch due to a drought in 2010, coppice shoots appeared in 10 % of the trees on the studied area. The reasons for vegetative regeneration have been determined, which mainly occurs by the degree of thickness in trees with a trunk diameter of up to 22 cm, or by the category of state in dead wood (70 % of the total number of coppice). The absence of seed birch undergrowth in drying birch plantations was found as a result of the tremendous soil ramping and the predominance of small-leaved lime, aspen undergrowth, Norway maple of seed origin, and seed origin oak, which requires tending. For successful birch seed regeneration under favorable climatic conditions, it is recommended to carry out soil mineralization of at least 50 % of the total area. When carrying out vegetative propagation, it is necessary to cut birch no older than 40 years, and in case of useful properties loss in birch forests over 71 years old in protective forests, we recommend the use of clear cutting but not selective cutting.

**Keywords:** natural renewal, hanging birch, undergrowth, logging, Republic of Tatarstan

**Suggested citation:** Singatullin I.K., Shakhraziev Sh.Sh., Glushko S.G. *Estestvennoe vozobnovlenie berezy povisloy (Betula pendula Roth.) v lesotepnoy zone Respubliki Tatarstan [Betula pendula Roth. natural regeneration in forest-steppe zone of Tatarstan Republic]. Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin, 2021, vol. 25, no. 5, pp. 14–21.*  
DOI: 10.18698/2542-1468-2021-5-14-21

### References

- [1] *Rekomendatsii po vedeniyu lesnogo khozyaystva Tatarskoy ASSR na zonal'no-tipologicheskoy osnove* [Recommendations for the management of forestry in the Tatar ASSR on a zonal-typological basis]. Moscow: VNIILM, 1985, 45 p.
- [2] Pozdeev D.A., Petrov A.A. *Ispol'zovanie raschetnoy lesoseki berezovoy khozseksii v Udmurtskoy Respublike* [The use of the allowable cut of the birch farm section in the Udmurt Republic]. *Lesa Evrazii — Belorusskoe Poozer'e: Materialy XII Mezhdunarodnoy konferentsii molodykh uchenykh, posvyashchennoy 145-letiyu so dnya rozhdeniya professora G.F. Morozova* [Eurasian Forests — Belarusian Lake District (Belorusskoye Poozerie): Materials Of the XII International Conference of Young Scientists, dedicated to 145th anniversary from the date of Prof. G.F. Morozov's birth. Moscow], MSFU, 2012. Ed. V.G. Sanaev. Moscow: MGUL, 2012, pp. 98–99.
- [3] Singatullin, I.K. Khakimova Z., Chernov V., Davletshin R. The influence of climatic factors on the succession processes in the forests of the forest-steppe zone of the Republic of Tatarstan. BIO Web of Conferences. International Scientific-Practical Conference «Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources» (FIES 2019), 2020, v. 17, no. 00037. DOI: <https://doi.org/10.1051/bioconf/20201700037>
- [4] Kalinin K.K. *Estestvennoe lesovozobnovlenie i formirovanie molodnyakov v elovykh i berezovykh nasazhdeniyakhna krupnykh garyakh Srednego Zavolzh'ya* [Natural reforestation and formation of young stands in spruce and birch plantations on large burned-out areas of the Middle Trans-Volga region]. *Vestnik MarGTU: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie* [Vestnik MarSTU: Forest. Ecology. Nature Management], 2010, no. 1, pp. 5–15.
- [5] Konovalov V.F. *Seleksiya i razvedenie berezy povisloy na Yuzhnom Urale* [Selection and breeding of drooping birch in the South Urals]. Moscow: MSFU, 2002, 298 p.
- [6] Muzafarova A.A., Gasymov R.T., Galeev E.I. *Vozobnovlenie berezy povisloy na promyshlennykh otvalakh v Bashkirskom Zaural'e* [Renewal of hanging birch on industrial dumps in the Bashkir Trans-Urals]. *Vestnik BSAU* [Bulletin of BSAU], 2013, no. 1, pp. 97–99.
- [7] Potapenko A.M. *Otsenka lesovozobnovitel'noy sposobnosti bereznyakov yuzhnoy chasti Belarusi* [Assessment of the reforestation capacity of birch forests in the southern part of Belarus]. *Lesa Rossii i khozyaystvo v nikh* [Forests of Russia and the economy in them], 2017, no. 3(62), pp. 35–41.
- [8] Raulo J., Koski V. Growth of *Betula pendula* Roth progenies in southern central Einland. *Metsantutkimuslatokjulk*, 1977, bd. 90, no. 1/6, pp. 1–39.
- [9] Harper J.L. *Population biology of plants*. London, New York: Academic Press, 1977, 892 p.
- [10] Skenderovic J. Neke sumskouzgojne osobine obicne breze (*Betula pendula* Roth.) u Panonskom gorju Hrvatske. *Glas. Sumske pokuse*, 1990, no. 26, pp. 361–377.
- [11] Demakov Yu.P. *Metodika ispol'zovaniya taksatsionnykh opisaniy nasazhdeniy dlya analiza struktury i dinamiki drevostoev* [Methods of using taxation descriptions of plantations to analyze the structure and dynamics of forest stands]. *Nauka v usloviyakh sovremenosti* [Science in modern conditions]. Jshkar-Ola: MarGTU, 2009, pp. 6–8.
- [12] Denisov S.A. *Dinamika formatsionnoy struktury bereznyakov v svyazi s ikh ontogenezom v razlichnykh edatopakh v Srednem Povolzh'e* [Dynamics of the formational structure of birch forests in connection with their ontogenesis in various edatopes in the Middle Volga region]. *Vestnik MarGTU: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie* [Bulletin of MarSTU: Forest. Ecology. Nature Management], 2009, no. 3, pp. 13–27.
- [13] Chizhov B.E., Agafonov E.Yu., Kozinets V.A. *Osobennosti semennogo vozobnovleniya berez lesostepi Zapadnoy Sibiri* [Features of seed renewal of birches in the forest-steppe of Western Siberia]. *Lesa i lesnoe khozyaystvo Zapadnoy Sibiri* [Forests and forestry in Western Siberia]. Iss. 8. Tyumen: Publishing house of the Tyumen State University, 2008, pp. 104–111.

- [14] Gunther N. Entwicklungsmechanismen in der Gattung *Betula* L. (Birke). *Gleditschia*, 1993, v. 21, no. 2, pp. 167–180.
- [15] Wagner S., Lundqvist L. Regeneration techniques and the seedling environment from a European perspective. *Restoration of boreal and temperate forests*. Boca Raton: CRC Press, 2005, pp. 153–171.
- [16] Lokhmatov N.A. *Prichiny ranney poteri berezoy borodavchatoy poroslevooy sposobnosti* [Causes of early loss of warty birch growth ability]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry], 1953, no. 2, pp. 42–44.
- [17] Podshivalov V.A., Agafonov E.Yu., Shamray V.M., Kozinets V.A. *Vegetativnoe vozobnovlenie berez v lesostepi Zapadnoy Sibiri* [Vegetative renewal of birches in the forest-steppe of Western Siberia]. *Lesa i lesnoe khozyaystvo Zapadnoy Sibiri* [Forests and forestry of Western Siberia], no. 8. Tyumen: Tyumen State University, 2008, pp. 147–153.
- [18] Shtol' V.A. *Osobennosti vegetativnogo vozobnovleniya bereznyakov lesostepi Zapadnoy Sibiri* [Features of vegetative renewal of birch forests in the forest-steppe of Western Siberia]. *Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekologiya i prirodopol'zovanie* [Bulletin of the Tyumen State University. Ecology and nature management], 2016, v. 2, no. 1, pp. 92–103. DOI: 10.21684 / 2411-7927-2016-2-1-92-103
- [19] Duro R., Slavko M. Istrazivanje vegetacij skiniuzgojnih problema obične breze (*Betula pendula* Roth.) napodručju Pozeđei Slatine. *Glas. Sumske pokuse*, 1994, no. 30, pp. 337–380.
- [20] Krasnobaeva K.V. *Rekomendatsii po vedeniyu khozyaystva v bereznyakakh podzony smeshannykh lesov i lesostepi (na primere respubliki Tatarstan)* [Recommendations for farming in birch forests of the mixed forest and forest-steppe subzone (on the example of the Republic of Tatarstan)]. Kazan: GUP PIK Idel-Press, 2002, 32 p.
- [21] Krasnobaeva K.V., Mityashina S.Yu., Lukin I.F., Singatullin I.K. *Dinamika plodonosheniya berezy povisloy* [Fruiting dynamics of silver birch]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry], 2007, no. 1, pp. 33–34.
- [22] Galiullin I.R., Glushko S.G., Khamitova S.M., Pestovskiy A.S., Fedchenko E.I., Ivanova M.A. Issues of satellite images decoding in modern development of forest management. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2020, v. 507, no. 012004. DOI:10.1088/1755-1315/507/1/012004
- [23] Dmitriev E.V., Kozoderov V.V., Dementyev A.O., Safonova A.N. Combining Classifiers in the Problem of Thematic Processing of Hyperspectral Aerospace Images. *Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing*, 2018, v. 54 (3), pp. 213–221.
- [24] Belov S.V. *Primenenie metodov matematicheskoy statistiki pri uchete estestvennogo vozobnovleniya* [Application of methods of mathematical statistics when taking into account natural regeneration]. *Lesovodstvo, lesnye kul'tury i pochvovedenie* [Forestry, forest cultures and soil science], 1973, no. 2, pp. 3–11.
- [25] Gazizullin A.Kh., Singatullin I.K. *Sostoyanie bereznyakov Vozvyshennogo Zavolzh'ya Respubliki Tatarstan posle zasukhi 2010 goda* [The state of birch forests in the High Trans-Volga region of the Republic of Tatarstan after the drought of 2010]. *Vestnik Kazanskogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Kazan Agrarian University], 2014, no. 2, pp. 99–103. DOI 10.12737/5351
- [26] Singatullin, I.K. *Vliyanie zasukhi 2010 goda na sostoyanie lesov Respubliki Tatarstan* The impact of the 2010 drought on the state of the forests of the Republic of Tatarstan. *Vestnik Kazanskogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of Kazan Agrarian University], 2018, no. 3, pp. 40–45. DOI 10.12737/article\_5bcf556f0c95a9.28220424
- [27] Shvets M.V. *Bakterial'naya vodyanka berezy povisloy (Betula pendula Roth.) v Zhitomirskom Poles'e Ukrainy* [Bacterial dropsy of silver birch (*Betula pendula* Roth.) in Zhytomyr Polesie of Ukraine]. *Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal)*, 2017, no. 4 (358), pp. 84–94. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.84
- [28] Danchenko A.M., Trofimenko N.M. *Ekologiya semennogo razvedeniya berezy* [Ecology of birch seed cultivation]. Novosibirsk: Science, 1993, 181 p.

## Authors' information

**Singatullin Irek Kiramovich** — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor Kazan State Agrarian University, [betula2@mail.ru](mailto:betula2@mail.ru)

**Shaikhraziev Shamil Shaikhenurovich** — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor Kazan State Agrarian University, [Shaihrasievsh@mail.ru](mailto:Shaihrasievsh@mail.ru)

**Glushko Sergey Gennadievich** — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Kazan State Agrarian University, [glushkosg@mail.ru](mailto:glushkosg@mail.ru)

Received 30.04.2021.

Accepted for publication 01.07.2021.

## ПРИЖИВАЕМОСТЬ И МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ САЖЕНЦЕВ ЕЛИ ЕВРОПЕЙСКОЙ (*PICEA ABIES* L.), ОБРАБОТАННЫХ НИЗКОЧАСТОТНЫМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПОЛЕМ И ПОСАЖЕННЫХ С ВНЕСЕНИЕМ ГИДРОГЕЛЯ

А.И. Смирнов<sup>1</sup>, В.Ф. Никитин<sup>2</sup>, А.А. Генералова<sup>2</sup>, П.А. Аксенов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ООО «Разносервис», 127051, г. Москва, Лихов пер., д. 10

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

axenov.pa@mail.ru

Представлены результаты исследования, свидетельствующие о явном положительном влиянии обработки саженцев ели европейской (*Picea abies* L.) низкочастотным электромагнитным полем и внесения в почву гидрогеля на увеличение их приживаемости, а также результаты сравнительного биометрического анализа, которые доказывают эффективность таких приемов. Проведен гистометрический анализ опытных и контрольных образцов саженцев ели европейской, подтвердивший также положительное влияние обработки саженцев ели низкочастотным электромагнитным полем на анатомическое строение их ксилемы.

**Ключевые слова:** низкочастотное электромагнитное поле (ЭМП), технология ПОСЭП, гидрогель, саженцы ели европейской, морфометрия, гистометрия

**Ссылка для цитирования:** Смирнов А.И., Никитин В.Ф., Генералова А.А., Аксенов П.А. Приживаемость и морфологические особенности саженцев ели европейской (*Picea abies* L.), обработанных низкочастотным электромагнитным полем и посаженных с внесением гидрогеля // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 5. С. 22–29. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-5-22-29

Для реализации программ воспроизводства лесных ресурсов необходим высококачественный посадочный материал с оптимальными биометрическими параметрами, которые обеспечат хорошую приживаемость, сохранность и высокие темпы роста лесных культур [1–3].

Актуальной задачей искусственного лесовыращивания является повышение качественных характеристик семян и сеянцев хозяйственно ценных древесных пород [4, 5], в частности ели европейской (*Picea abies* L.). Для решения этой задачи разработана и апробирована высокоэффективная и экологически безопасная технология ПОСЭП (предпосевная обработка семян и сеянцев электромагнитным полем) [6]. Эта технология позволяет существенно повысить посевные характеристики семян, усилить рост всходов, сеянцев и их приживаемость при посадке [7].

Для исследования увеличения приживаемости и роста сеянцев ели европейской кроме технологии ПОСЭП при посадке использовали внесение в почву гидрогеля — гранулированного полимерного абсорбента [8], выполняющего роль влагонакопителя и при внесении в почву удерживающего воду и растворенные в ней питательные вещества в зоне ризосферы растений [9], легко отдавая накопленную влагу и питательные вещества саженцам, что помогает им быстрее и лучше прижиться. При правильном внесении гидрогель удерживает удобрения, сохраняя их в доступной для корней зоне, улучшает водно-физические свойства почвы [10],

обеспечивает максимально благоприятные условия для роста и развития древесных пород в первые годы после посадки.

### Цель работы

Цель работы — изучение влияния низкочастотного электромагнитного поля и гидрогеля на рост, увеличение приживаемости и анатомическое строение древесины саженцев ели европейской (*Picea abies* L.).

### Объекты и методы исследования

Исследование проводилось в 2019 г. на территории Алексеевского лесничества Сергиево-Посадского района Московской обл.

В сравнениях участвовали две группы четырехлетних саженцев ели:

- первая группа: посадка д. Малинники;
- вторая группа: посадка д. Слабнево.

Каждая группа представлена тремя вариантами саженцев:

1) контрольные — саженцы не обработаны, гидрогель не внесен, посажены весной 2019 г. (200 шт.);

2) опыт-1 — саженцы обработаны ЭМП при посадке весной 2019 г. (200 шт.);

3) опыт-2 — саженцы посажены весной 2019 г., в лунку внесен гидрогель (200 шт.).

Согласно методике исследования [11], весной 2019 г. саженцы для варианта опыт-1 обрабатывали по технологии ПОСЭП низкочастотным генератором «Рост-Актив» [12] с частотой 16 Гц



с возрастающим значением индукции магнитного поля от 0,4 до 2,0 мТл и с экспозицией 11 мин. Контрольными служили необработанные саженцы. Посадку саженцев весной 2019 г. проводили в четырехкратной повторности [13] в подготовленные борозды по 50 шт.

В варианте опыт-2 в посадочные лунки предварительно вносили гидрогель, набухший в воде (из расчета 2 г сухого гидрогеля на одну лунку), и затем высаживали саженцы.

В конце сентября 2019 г. был сделан учет прижившихся саженцев на опытных и контрольных участках и проведены их измерения (рис. 1, 2).

Также была проведена выкопка контрольных и опытных саженцев для детальных исследований в лаборатории кафедры «Лесные культуры, селекция и дендрология» МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. Выполнялись измерения следующих биометрических показателей: высоты, диаметра саженца на уровне корневой шейки, массы корней надземной части и хвои в воздушно-сухом состоянии после высушивания в течение 15 сут и линейный прирост текущего года. Для определения средней массы частей саженцев использовались весы Аsom JW1. Замеры биометрических параметров саженцев проводились в количестве, достаточном для обеспечения точности среднестатистических показателей в пределах  $\pm 5\%$ .

Для проведения гистометрического анализа [14] поперечных срезов использована следующая методика. Из саженцев вырезали 1–2 см участки стволиков с корневой шейкой, которые подвергали действию размягчающей спиртоглицериновой смеси (соотношение компонентов 1:1) в течение 10 сут при температуре 25...30 °С [15]. Далее получали поперечные срезы с помощью микротомы МС-2 и окрашивали в соответствии с общепринятой методикой [16]. Изготовление временных глицериновых препаратов соответствовало методике [17]. Микроскопирование велось в прямом светопольном и поляризационном режимах на исследовательском биологическом микроскопе *Reichert Diavar*, снабженном окуляр-микрометром и поляризаторами. Использовали микрообъективы: Plan 4/0,1/160/-; S-Plan 10/0,25/160/-; S-Plan 40/0,65/160/0,17; S-Plan 63/0,8/160/0,17. Срезы ксилемы фотографировали с помощью цифрового фотоаппарата Sony DSC-WX30 через планкомпенсационный окуляр микроскопа. Измерение и подсчет структурных элементов годичных колец проводился по данным работы [18].

Для проверки достоверности полученных результатов руководствовались общепринятыми методиками статистической обработки [19] с использованием программ Microsoft Excel.

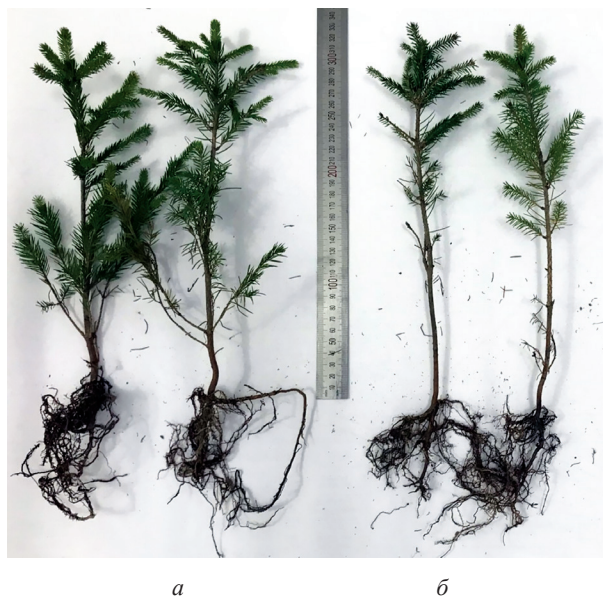


Рис. 1. Саженцы ели европейской (д. Малинки, сентябрь 2019 г): а — вариант с обработкой низкочастотным ЭМП; б — контрольный вариант

Fig. 1. European spruce seedlings (Malinniki village, September 2019): а — variant with low-frequency EMF treatment; б — control option



Рис. 2. Саженцы ели европейской (д. Слабнево, сентябрь 2019 г): а — вариант с внесением гидрогеля; б — контрольный вариант

Fig. 2. European spruce seedlings (village Slabnevo, September 2019): а — option with the introduction of a hydrogel; б — control option

## Результаты и обсуждение

Анализ приживаемости саженцев осенью 2019 г. показал значительное превосходство опытных вариантов над контрольными (табл. 1).

Результаты исследований влияния ЭМП и гидрогеля на приживаемость саженцев ели европейской, выращиваемых в открытом грунте питомника, показали, что лучшим из вариантов оказалась обработка ЭМП (см. табл. 1).

Обработка ЭМП и добавление гидрогеля также оказали влияние на биометрические характеристики саженцев ели европейской (табл. 2).

Т а б л и ц а 1

**Характеристика приживаемости саженцев ели европейской, обработанных низкочастотным ЭМП и гидрогелем (учет в сентябре 2019)**

**Characteristics of the survival ability of European spruce seedlings treated with low-frequency EMF and hydrogel (accounting in September 2019)**

Место посадки	Варианты опыта	Число прижившихся саженцев из 200	Приживаемость ± ошибка доли, %
д. Малинники	Контрольные	148	74,0 ± 3,1
	Опыт-1	184	92,0 ± 1,9
	Опыт-2	178	89,0 ± 2,2
д. Слабнево	Контрольные	144	72,0 ± 3,2
	Опыт-1	186	93,0 ± 1,8
	Опыт-2	182	91,0 ± 2,0
Среднее по двум участкам	Контрольные	146	73,0 ± 3,1
	Опыт-1	185	92,5 ± 1,9
	Опыт-2	181	91,0 ± 2,1

В табл. 2 приведены средние арифметические значения биометрических характеристик саженцев ± ошибка средних арифметических; объемы сравниваемых выборок 25 шт.; стандартное значение  $t$ -критерия достоверности различий ( $t_{st}$ ) = 2,011 при заданном уровне значимости ( $\alpha$ ) = 0,05;  $t_{расч}$  — расчетный  $t$ -критерий достоверности различий между выборками; жирным шрифтом выделены значения  $t_{расч}$ , превышающие стандартное значение  $t$ -критерия.

По результатам осенних учетов проведено сравнение средних биометрических характеристик саженцев ели европейской в вариантах эксперимента: опыт-1 — ЭМП, опыт-2 — гидрогель и контрольные. Данные табл. 2 свидетельствуют о том, что обработка саженцев в опыте-1 и опыте-2 по всем показателям превышала контрольные. Различия большинства средних показателей опытов достоверны на 5%-м и более высоких уровнях значимости.

В конце вегетационного сезона в лаборатории кафедры лесных культур, селекции и дендрологии МФ МГУ им. Н.Э. Баумана был проведен сравнительный гистометрический анализ поперечных срезов контрольных и опытных стволиков саженцев ели европейской (табл. 3).

Т а б л и ц а 2

**Средние биометрические характеристики саженцев ели европейской, обработанных ЭМП и гидрогелем (учет осенью 2019 г.)**

**Average biometric characteristics of European spruce seedlings treated with EMF and hydrogel (accounting in autumn 2019)**

Место посадки	Варианты опыта	Диаметр у корневой шейки, мм	Высота саженца, см	Масса сухого растения, г	Масса сухих корней, г	Масса сухой надземной части без хвои, г	Масса сухой хвои, г
д. Малинники	Контрольный	4,02 ± 0,15	30,44 ± 1,42	8,98 ± 0,40	1,67 ± 0,08	2,95 ± 0,14	4,46 ± 0,17
	Относительно контрольного, %	100	100	100	100	100	100
	Опыт-1	5,38 ± 0,21	35,30 ± 1,76	14,55 ± 0,72	3,18 ± 0,13	4,69 ± 0,23	6,65 ± 0,32
	Относительно контрольного, %	133,8	115,9	162,0	190,4	159,0	149,1
	$t_{расч}$	<b>5,20</b>	<b>2,15</b>	<b>6,71</b>	<b>9,64</b>	<b>6,34</b>	<b>5,99</b>
	Опыт-2	5,05 ± 0,18	34,84 ± 1,49	14,10 ± 0,67	3,02 ± 0,15	4,50 ± 0,21	6,61 ± 0,27
	Относительно контрольного, %	125,6	114,4	157,0	180,8	152,5	148,2
	$t_{расч}$	<b>4,35</b>	<b>2,14</b>	<b>6,52</b>	<b>7,78</b>	<b>6,02</b>	<b>6,69</b>
д. Слабнево	Контрольный	3,86 ± 0,19	29,78 ± 1,14	9,41 ± 0,45	1,81 ± 0,09	3,10 ± 0,16	4,53 ± 0,22
	Относительно контрольного, %	100	100	100	100	100	100
	Опыт-1	5,17 ± 0,25	33,76 ± 1,57	13,76 ± 0,64	2,67 ± 0,13	4,60 ± 0,22	6,45 ± 0,33
	Относительно контрольного, %	133,0	113,4	146,2	147,5	148,4	142,4
	$t_{расч}$	<b>4,15</b>	<b>2,05</b>	<b>5,54</b>	<b>5,39</b>	<b>5,48</b>	<b>4,85</b>
	Опыт-2	4,73 ± 0,21	32,34 ± 1,50	12,59 ± 0,59	2,53 ± 0,12	4,26 ± 0,17	5,83 ± 0,25
	Относительно контрольного, %	122,5	108,6	133,8	139,8	137,4	128,7
	$t_{расч}$	<b>3,09</b>	1,36	<b>4,25</b>	<b>4,80</b>	<b>4,86</b>	<b>3,88</b>



Т а б л и ц а 3

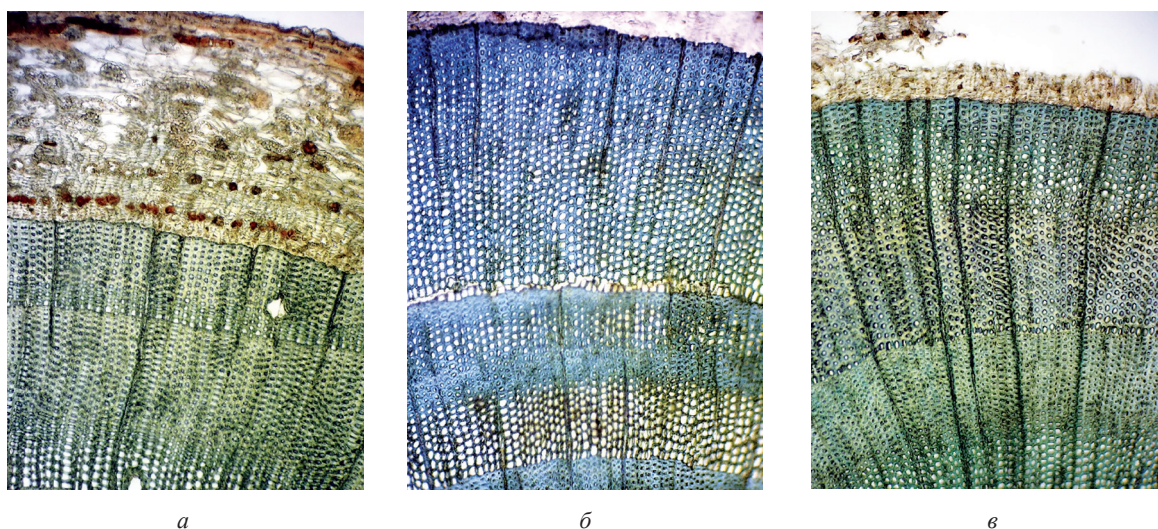
**Средние гистометрические характеристики вариантов опыта с саженцами ели европейской**  
**Average histometric characteristics of experimental variants with European spruce seedlings**

Место посадки	Варианты опыта	Гистометрический показатель	Среднее значение показателя радиального прироста 2019 г.	Относительно контрольных, %	$t_{расч}$
д. Малинники	Контрольные	Ширина годичного кольца, мм	0,198 ± 0,009	100,0	–
		Число сечений трахеид в радиальном ряду, ряд <sup>-1</sup>	13,20 ± 0,631	100,0	–
		Средний радиальный диаметр трахеиды, мкм	15,10 ± 0,717	100,0	–
	Опыт-1	Ширина годичного кольца, мм	0,672 ± 0,029	339,4	<b>15,46</b>
		Число сечений трахеид в радиальном ряду, ряд <sup>-1</sup>	36,30 ± 1,901	275,0	<b>11,53</b>
		Средний радиальный диаметр трахеиды, мкм	18,50 ± 0,904	122,5	<b>2,95</b>
	Опыт-2	Ширина годичного кольца, мм	0,559 ± 0,024	282,3	<b>14,31</b>
		Число сечений трахеид в радиальном ряду, ряд <sup>-1</sup>	30,00 ± 1,487	227,2	<b>10,40</b>
		Средний радиальный диаметр трахеиды, мкм	18,60 ± 0,891	123,2	<b>3,06</b>
д. Слабнево	Контрольные	Ширина годичного кольца, мм	0,146 ± 0,007	100,0	–
		Число сечений трахеид в радиальном ряду, ряд <sup>-1</sup>	9,90 ± 0,478	100,0	–
		Средний радиальный диаметр трахеиды, мкм	14,80 ± 0,697	100,0	–
	Опыт-1	Ширина годичного кольца, мм	0,604 ± 0,025	413,7	<b>17,77</b>
		Число сечений трахеид в радиальном ряду, ряд <sup>-1</sup>	32,20 ± 1,606	325,3	<b>13,30</b>
		Средний радиальный диаметр трахеиды, мкм	18,70 ± 0,850	126,4	<b>3,55</b>
	Опыт-2	Ширина годичного кольца, мм	0,451 ± 0,018	308,9	<b>15,51</b>
		Число сечений трахеид в радиальном ряду, ряд <sup>-1</sup>	24,40 ± 1,250	246,5	<b>10,83</b>
		Средний радиальный диаметр трахеиды, мкм	18,50 ± 0,921	125,0	<b>3,20</b>

В табл. 3 приведены средние арифметические значения гистометрических характеристик саженцев ± ошибка средних арифметических; объемы сравниваемых выборок 10 шт.; стандартное значение  $t$ -критерия достоверности различий ( $t_{ст}$ ) = 2,101 при заданном уровне значимости ( $\alpha$ ) = 0,05;  $t_{расч}$  — расчетный  $t$ -критерий достоверности различий между выборками; жирным шрифтом выделены значения  $t_{расч}$ , превышающие стандартное значение  $t$ -критерия.

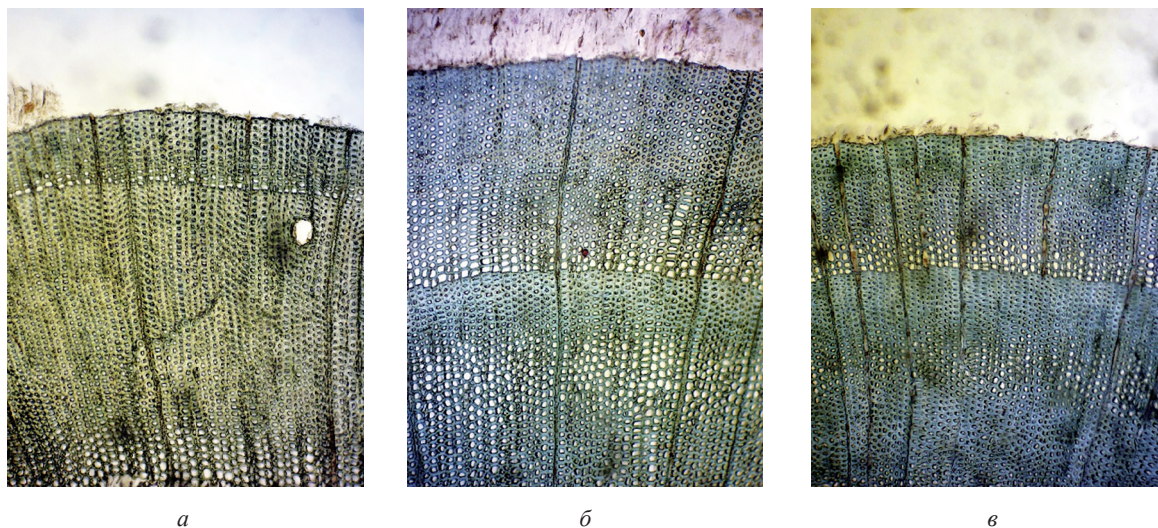
Примеры особенностей микростроения участков последнего годичного кольца саженцев ели европейской из различных вариантов опыта приведены на рис. 3, 4.

Примеры особенностей микростроения участков последнего годичного кольца саженцев ели европейской из различных вариантов опыта приведены на рис. 3, 4.



**Рис. 3.** Поперечные срезы стволиков саженцев ели европейской из посадок в д. Малинники (окрашено генцианвиолетом, одинаковое увеличение, объектив S-Plan 10/0,25/160/-): *a* — контроль; *б* — опыт-1; *в* — опыт-2

**Fig. 3.** Cross sections of the stems of European spruce seedlings from plantings in the village of Malinniki (stained with gentian violet, the same magnification, S-Plan 10 / 0.25 / 160 / - lens): *a* — control; *б* — experiment-1; *в* — experiment-2



**Рис. 4.** Поперечные срезы стволиков саженцев ели европейской из посадок в д. Слабнево (окрашено генцианвиолетом, одинаковое увеличение, объектив S-Plan 10/0,25/160/-): *a* — контроль; *б* — опыт-1; *в* — опыт-2

**Fig. 4.** Cross sections of European spruce seedlings from plantings in the village of Slabnevo (stained with gentian violet, the same magnification, S-Plan 10 / 0.25 / 160 / - lens): *a* — control; *б* — experiment-1; *в* — experiment-2

## Выводы

По данным гистометрических исследований можно сделать следующие выводы.

Обработка саженцев низкочастотным ЭМП при пересадке [20] перед последним вегетационным сезоном вызвала максимальное увеличение радиального прироста ксилемы. Увеличение ширины годичного кольца произошло как за счет усиления камбиальной активности, продуцирующей большее число клеток радиальных рядов трахеид (превышение опытных вариантов в среднем на 200 %), так и за счет изменений процессов роста первичных клеточных стенок дифференцирующихся трахеид, приводящих к повышению среднего радиального диаметра трахеальных элементов на 24 % по сравнению с контрольными. Отмечено образование очень крупных диаметров первых рядов ранних трахеид. На рис. 3, *б* наблюдается деформация этой части годичного кольца, вызванная нагрузкой, создаваемой режущей кромкой микротомного ножа. Протяженность зоны поздней древесины и средняя толщина клеточных стенок поздних трахеид годичного кольца ксилемы опытных вариантов заметно больше по сравнению с контрольными как при обработке ЭМП посадочного материала, так и при внесении гидрогеля.

Близкая по изменению гистометрических показателей ситуация складывается и с саженцами, высаженными с применением гидрогеля. По сравнению с контрольными растениями, опытные имели превышение ширины годичного кольца 2019 г. на 196 %, увеличение числа просветов

трахеид в среднем радиальном ряду на 137 % и повышение среднего радиального диаметра клеток на 24 %. Различия всех опытных и контрольных гистометрических показателей достоверны на 5%-м уровне значимости.

В целом по трем основным количественным гистометрическим показателям годичных колец, образованных в 2019 г., лидируют саженцы, предварительно обработанные низкочастотным ЭМП по технологии ПОСЭП по сравнению с вариантом опыта, где имело место внесение гидрогеля. Изменения этих показателей хорошо видны при сравнении микрофотографий поперечных срезов стволиков, приведенных на рис. 3 и 4. Нами отмечено, что у саженцев, обработанных ЭМП, помимо увеличения ширины годичного кольца ксилемы также наблюдалось значительное утолщение коры за счет более активного радиального роста в период вегетации 2019 г. Поэтому высокие значения диаметра у корневой шейки в опытных образцах саженцев ели являются суммарным результатом активного роста древесного кольца и коры (см. табл. 2). Значительных различий во встречаемости вертикальных смоляных ходов на единице площади поперечного сечения последнего годичного кольца у растений из разных вариантов опыта не выявлено, к концу периода вегетации 2019 г. наблюдалось некоторое увеличение смолистости коры стволиков ели, обработанной ЭМП.

Обобщая изложенное, отметим, что обработка ЭМП 4-летнего посадочного материала положительно повлияла на увеличение ключевых гистометрических показателей древесины



по сравнению с саженцами, культивируемыми с гидрогелем. Оба опытных варианта значительно превышают контрольные по сравниваемым параметрам. Обработка низкочастотным ЭМП по технологии ПОСЭП саженцев ели европейской, несомненно, дает значительные преимущества по скорости образования и качеству дифференцирующей ксилемы, что, в свою очередь, положительно влияет на приживаемость и дальнейший рост саженцев.

## Список литературы

- [1] Мелехов И.С. Лесоведение. М.: МГУЛ, 2002. 398 с.
- [2] Луганский Н.А., Залесов С.В., Азаренок В.А. Лесоводство. Екатеринбург: Уральский государственный лесотехнический университет, 2001. 320 с.
- [3] Пентелькина Н.В. Проблемы выращивания посадочного материала в лесных питомниках и пути их решения // Актуальные проблемы лесного комплекса. Вып. 31. Брянск: Брянская государственная инженерно-технологическая академия, 2012. С. 189–193.
- [4] Родин А.Р. Интенсификация выращивания лесопосадочного материала. М.: Агропромиздат, 1989. 78 с.
- [5] Romanas L. Effect of cold stratification on the germination of seeds // Physiology of forest seeds. The National Agricultural Research Foundation (NAGREF). Thessaloniki, Greece: Forest Research Institute, 1991, p. 20.
- [6] Смирнов А.И., Орлов Ф.С. Способ предпосевной обработки семян и устройство для его осуществления. Пат. № 2591969 РФ, заявитель и патентообладатель ООО «Разносервис», 2014. Бюл. № 20.
- [7] Смирнов А.И. Влияние низкочастотного электромагнитного поля на всхожесть семян и рост сеянцев сосны обыкновенной в питомниках зоны смешанных лесов: дис. ... канд. с.-х. наук. М., МГУЛ, 2016.
- [8] Sarvaš M, Pavlenda P, Takáčová E. Effect of hydrogel application on survival and growth of pine seedlings in reclamations // J. of forest science, 2007, v. 53 (5), pp. 204–209.
- [9] Мырзаханова М.Н., Кушкумбаева А.А. Инновационные возможности поддержания почвенного баланса различных сельскохозяйственных культур. Лондон: Междунар. академия наук и высшего образования, 2016. С. 14–16.
- [10] Данилова Т.Н., Козырева Л.В. Возможности использования гидрогелей для управления водообеспеченностью полей // Плодородие, 2008. № 6. С. 24–25.
- [11] Рекомендации по восстановлению искусственным и комбинированным способами хвойных и твердолиственных молодняков на землях лесного фонда (с базовыми технологическими картами на выполненные работы). Пушкино: ВНИИЛМ, 2015. 80 с.
- [12] Смирнов А.И., Орлов Ф.С. Устройство для предпосевной обработки посевного материала. Пат. № 155132 РФ, заявитель и патентообладатель ООО «Разносервис», 2014. Бюл. № 26.
- [13] Доспехов В.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Колос, 1985. 336 с.
- [14] Арсентьева Т.В. Сравнительно-анатомическое изучение древесины *J. communis* L. (Cupressaceae) в связи с изменением жизненных форм // Проблемы ботаники на рубеже 20–21 вв. СПб.: Ботанический институт РАН, 1998. Т. 1. С. 6.
- [15] Булыгин Н.Е., Ярмишко В.Т. Дендрология. М.: МГУЛ, 2001. 528 с.
- [16] De Lucas M., Etchells J.P. (Eds.) Xylem — Methods and Protocols. New York: Publishing Humana Press, 2017. 260 p.
- [17] Schweingruber F.H. Wood Structure and Environment (Springer Series in Wood Science). Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 2007, p 280
- [18] Ваганов Е.А., Шашкин А.В., Свищерская И.В., Высоцкая Л.Г. Гистометрический анализ роста древесных растений. Новосибирск: Наука, 1985. 108 с.
- [19] Свалов Н.Н. Вариационная статистика. М.: МГУЛ, 2001. 80 с.
- [20] Фирсов В.Ф., Чекмарев В.В., Левин В.А. Использование физических факторов и микроэлементов в повышении болезнеустойчивости и продуктивности возделываемых культур // Вопросы современной науки и практики, 2005. № 1. С. 19–26.

## Сведения об авторах

**Смирнов Алексей Иванович** — канд. с.-х. наук, ООО «Разносервис», 3642737@mail.ru

**Никитин Владимир Федорович** — канд. с.-х. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), vfnikitin@mgul.ac.ru

**Генералова Анна Александровна** — магистрант, МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал)

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

Поступила в редакцию 30.04.2021.

Принята к публикации 21.05.2021.

# EUROPEAN SPRUCE (*PICEA ABIES* L.) SURVIVAL ABILITY AND MORPHOLOGICAL TRAITS OF SEEDLINGS TREATED WITH LOW-FREQUENCY ELECTROMAGNETIC FIELD AND PLANTED WITH HYDROGEL APPLICATION

A.I. Smirnov<sup>1</sup>, V.F. Nikitin<sup>2</sup>, A.A. Generalova<sup>2</sup>, P.A. Aksenov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>LLC Raznoservice, 10, Likhov per., 127051, Moscow, Russia

<sup>2</sup>BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

axenov.pa@mail.ru

The results of the study indicate a clear positive effect of the low-frequency electromagnetic field and hydrogel on the increase in the survival rate of experimental samples of European spruce seedlings (*Picea abies* L.) treated with BOT technology in relation to the control samples. The results of comparative biometric analysis are presented, which prove the effectiveness of methods of processing spruce seedlings with a low-frequency electromagnetic field and applying hydrogel to the soil. The histometric analysis of experimental and control samples of European Spruce seedlings confirmed the positive effect of the low-frequency electromagnetic field on the anatomical structure of the xylem of seedlings treated using the BOT technology.

**Keywords:** low-frequency electromagnetic field (EMF), BOT technology, Hydrogel, European spruce seedlings, morphometry, histometry

**Suggested citation:** Smirnov A.I., Nikitin V.F., Generalova A.A., Aksenov P.A. *Prizhivaemost' i morfologicheskie osobennosti sazhentsev eli evropeyskoy (Picea abies L.), obrabotannykh nizkochastotnym elektromagnitnym polem i posazhennykh s vneseniem gidrogelya* [European spruce (*Picea abies* L.) survival ability and morphological traits of seedlings treated with low-frequency electromagnetic field and planted with hydrogel application]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 5, pp. 22–29. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-5-22-29

## References

- [1] Melekhov I.S. *Lesovedenie* [Forestry]. Moscow: MGUL, 2002, 398 p.
- [2] Luganskiĭ N.A., Zalesov S.V., Azarenok V.A. *Lesovodstvo* [Forestry]. Ekaterinburg: UGLTA, 2001, 320 p.
- [3] Pentel'kina N.V. *Problemy vyrashchivaniya posadochnogo materiala v lesnykh pitomnikakh i puti ikh resheniya* [Problems of growing planting material in forest nurseries and ways to solve them]. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa* [Actual problems of the forest complex]. Issue 31. Bryansk: BGITA, 2012, pp. 189–193.
- [4] Rodin A.R. *Intensifikatsiya vyrashchivaniya lesoposadochnogo materiala* [Intensification of the cultivation of forest planting material]. Moscow: Agropromizdat, 1989, 78 p.
- [5] Romanas L. *Effect of cold stratification on the germination of seeds* [Effect of cold stratification on the germination of seeds]. *Physiology of forest seeds*. The National Agricultural Research Foundation (NAGREF). Thessaloniki, Greece: Forest Research Institute, 1991, p. 20.
- [6] Smirnov A.I., Orlov F.S. *Sposob predposevnoy obrabotki semyan i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya* [Method for pre-sowing seed treatment and device for its implementation]. Pat. no. 2591969 RF, applicant and patentee LLC «Raznoservice», 2014. Bul. no. 20.
- [7] Smirnov A.I. *Vliyaniye nizkochastotnogo elektromagnitnogo polya na vskhozhest' semyan i rost seyantsev sosny obyknovennoy v pitomnikakh zony smeshannykh lesov* [Influence of low-frequency electromagnetic field on seed germination and growth of Scots pine seedlings in nurseries of mixed forest zone]. *Dis. Sci. Cand. (Agric.)*. Moscow, MGUL, 2016.
- [8] Sarvaš M, Pavlenda P., Takáčová E. Effect of hydrogel application on survival and growth of pine seedlings in reclamations. *J. of forest science*, 2007, v. 53 (5), pp. 204–209.
- [9] Myrzakhanova M.N., Kushkumbaeva A.A. *Innovatsionnye vozmozhnosti podderzhaniya pochvennogo balansa razlichnykh sel'skokhozyaystvennykh kul'tur* [Innovative possibilities for maintaining the soil balance of various crops]. London: Int. Academy of Sciences and Higher Education, 2016, pp. 14–16.
- [10] Danilova T.N., Kozyreva L.V. *Vozmozhnosti ispol'zovaniya gidrogeley dlya upravleniya vodoobespechennost'yu poley* [Possibilities of using hydrogels to control water availability in fields]. *Plodorodie* [Fertility], 2008, no. 6, pp. 24–25.
- [11] *Rekomendatsii po vosstanovleniyu iskusstvennykh i kombinirovannykh sposobami khvoynykh i tverdolistvennykh molodnyakov na zemlyakh lesnogo fonda (s bazovymi tekhnologicheskimi kartami na vypolnenie rabot)* [Recommendations for the restoration by artificial and combined methods of coniferous and hard-leaved young stands on the lands of the forest fund (with basic technological maps for work performance)]. Pushkino: VNIILM, 2015, 80 p.
- [12] Smirnov A.I., Orlov F.S. *Ustroystvo dlya predposevnoy obrabotki posevnoy materiala* [Device for pre-sowing treatment of seed]. Pat. no. 155132 RF, applicant and patentee LLC «Raznoservice», 2014. Bul. no. 26.
- [13] Dospikhov V.A. *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy)* [Field experiment methodology (with the basics of statistical processing of research results)]. Moscow: Kolos, 1985, 336 p.
- [14] Arsent'eva T.V. *Sravnitel'no-anatomicheskoe izuchenie drevesiny J. communis L. (Cupressaceae) v svyazi s izmeneniyem zhiznennykh form* [Comparative anatomical study of *J. communis* L. (Cupressaceae) wood in connection with changes in life forms]. *Problemy botaniki na rubezhe 20–21 vv.* [Problems of botany at the turn of the 20th–21st centuries]. St. Petersburg: Botanical Institute RAS, 1998, v. 1, p. 6.

- [15] Bulygin N.E., Yarmishko V.T. *Dendrologiya* [Dendrology]. Moscow: MSFU, 2001, 528 p.
- [16] De Lucas M., Etchells J.P. (Eds.) *Xylem — Methods and Protocols*. New York: Publishing Humana Press, 2017, 260 p.
- [17] Schweingruber F.H. *Wood Structure and Environment* (Springer Series in Wood Science). Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 2007, p. 280.
- [18] Vaganov E.A., Shashkin A.V., Sviderskaya I.V., Vysotskaya L.G. *Gistometricheskii analiz rosta drevesnykh rastenii* [Histometric analysis of the growth of woody plants]. Novosibirsk: Nauka, 1985, 108 p.
- [19] Svalov N.N. *Variatsionnaya statistika* [Variational statistics]. Moscow: MSFU, 2001, 80 p.
- [20] Firsov V.F., Chekmarev V.V., Levin V.A. *Ispol'zovanie fizicheskikh faktorov i mikroelementov v povyshenii bolezneustoychivosti i produktivnosti vozdeleyvaemykh kul'tur* [The use of physical factors and microelements in increasing disease resistance and productivity of cultivated crops]. *Voprosy sovremennoy nauki i praktiki* [Questions of modern science and practice], 2005, no. 1, pp. 19–26.

## Authors' information

**Smirnov Aleksey Ivanovich** — Cand. Sci. (Agriculture), LLC «Raznoservis», 3642737@mail.ru

**Nikitin Vladimir Fedorovich** — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), vfnikitin@mgul.ac.ru

**Generalova Anna Aleksandrovna** — Master graduand of the BMSTU (Mytishchi branch)

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

Received 30.04.2021.

Accepted for publication 21.05.2021.

УДК 639.1.053

DOI: 10.18698/2542-1468-2021-5-30-36

## ОЦЕНКА КОРМОВОЙ БАЗЫ ЛОСЯ ЕВРОПЕЙСКОГО В ЛЕСНОМ ФОНДЕ ОХОТХОЗЯЙСТВА «ВОЛОГОДСКОЕ»

А.Е. Самарин<sup>1</sup>, С.А. Корчагов<sup>2</sup>, С.Е. Грибов<sup>1</sup>, С.А. Смирнов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н.В. Верещагина», 160555, Вологодская обл., г. Вологда, с. Молочное, ул. Шмидта, д. 2

<sup>2</sup>ООО «Вологодский лесной научно-инновационный консалтинговый центр», 160000, г. Вологда, пер. Технический, д. 54А, оф. 70

griboff.s.e@mail.ru

На примере зимних стаций охотничьего хозяйства «Вологодское» выполнена оценка запасов кормовой базы популяции лося европейского и определено оптимальное, с точки зрения повреждения и восстановления запасов корма, количество особей. Выявлены наиболее посещаемые лесом участки — насаждения с молодой древесно-кустарниковой растительностью, преимущественно лиственной, в частности, с осинами (в возрасте до 25 лет), ивами (до 10 лет), березами (до 20 лет), ольхой серой (до 12 лет). Определены потенциальный запас веточного корма — 1,62 т, суточная потребность в веточном корме одного лося — 7...20 кг (в зависимости от возраста особи), годовая — около 3 т, при этом зимний период потребления составляет 220...230 дней. Установлено, что с учетом потенциального запаса используемого корма и объема годового потребления кормов имеется возможность прокормить 0,5 лосей, а в расчете на всю площадь хозяйства, пригодную для обитания вида, — 418 особей.

**Ключевые слова:** лось европейский, охотпользование, охотничьи угодья, кормовая база, зимние станции, кормовая емкость угодий

**Ссылка для цитирования:** Самарин А.Е., Корчагов С.А., Грибов С.Е., Смирнов С.А. Оценка кормовой базы лося европейского в лесном фонде охотхозяйства «Вологодское» // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 5. С. 30–36. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-5-30-36

Россия обладает значительным в мировом масштабе биоразнообразием, составной частью которого являются охотничьи виды фауны и среда их обитания [1–3]. Общая площадь охотничьих угодий в стране составляет около 1,674 млрд га или 98 % территории. В лесах обитает более 160 видов охотничьих животных, в том числе около 70 видов птиц и 90 видов млекопитающих. Основными охотничьими животными являются копытные и пушные звери, медведи, водоплавающая и боровая дичь.

За последние десятилетия численность охотничьих ресурсов России неоднократно изменялась. Наиболее драматичные изменения коснулись популяции лосей, численность которых в конце XX в. сократилась почти в 2 раза (на 43 %) — с 903 до 517 тыс. особей (1991–1996 гг.). Ситуация постепенно улучшается, и численность лося восстанавливается, однако по-прежнему значительно меньше (на 1/3), нежели в 1991 г. [4, 5].

Охотничьи животные — это возобновляемый природный ресурс, использование которого при правильной организации хозяйственной деятельности может быть бесконечным и не приносить ущерба биоразнообразию. Поэтому основной тенденцией развития охотпользования в мире становится распространение на охоту принципов устойчивого развития.

Российская школа охотоведения основана на принципах рационального неистощительного использования охотничьих ресурсов [2]. Однако,

несмотря на существование объективных предпосылок для такого подхода, идеи устойчивого охотпользования не находят широкого отражения в нормативно-правовых документах и практике ведения охотхозяйства. Все это предопределяет необходимость разработки и внедрения названных принципов устойчивого развития и рационального использования охотничьих ресурсов, а также обуславливает актуальность проведения исследований по этой теме.

### Цель работы

Цель работы — оценка кормовой базы лося европейского (*Alces alces*) на примере охотничьего хозяйства «Вологодское».

### Объекты и методика исследований

Исследования проведены на территории охотхозяйства «Вологодское», в границах Вологодского района Вологодской обл. Область простирается вдоль шестидесятой параллели, которая разделяет ее на почти равные северную и южную части. На северо-западе область граничит с Карелией, на севере — с Архангельской, на востоке — с Кировской, на юге — с Костромской и Ярославской, на юго-западе и западе — с Тверской, Новгородской и Ленинградской областями. Территория Вологодской обл. вытянута с запада на восток на 650 км, с севера на юг — на 380 км, имеет площадь 145,7 тыс. км<sup>2</sup> или 0,9 % территории России.



Регион отличается специфическими природными и экономическими особенностями [6], однако животный мир типичен для таежной зоны. Распределение ресурсов охотничье-промысловых видов по области неравномерно и зависит от лимитирующих факторов (вида животного, сезона, пищевой специализации, состояния кормовых и защитных условий местности, численности пищевых конкурентов и естественных врагов, интенсивности антропогенного пресса и др.) [7].

Для достижения поставленной цели последовательно выполнялись полевые и камеральные работы. На основании материалов лесоустройства и с учетом литературных данных была определена площадь распространения вида, которую подразделили на три категории угодий: хорошие; плохие; средние.

К хорошим угодьям отнесли основные станции обитания лося, обладающие высокими защитными свойствами, имеющие обильную, разнообразную и устойчивую от года к году кормовую базу. К плохим угодьям отнесли малокормные участки, без удовлетворительных убежищ и укрытий, отличающиеся невысокой плотностью заселения или посещаемые животными случайно. Средние угодья занимали промежуточное положение по всем показателям.

Известно, что по производительности хорошие угодья в 2,5 раза лучше средних и в 16–17 раз лучше плохих, в связи с чем при определении качества участков площадь хороших угодий умножили на 250, средних — на 100, плохих — на 15. Для получения средневзвешенного показателя качества угодий полученные показатели сложили и разделили на общую площадь угодий, в пределах которых обитает лось.

Для определения бонитета охотничьих угодий по средневзвешенному показателю были использованы определенные критерии (табл. 1).

В полевых условиях для определения численности лосей выполнялись зимние учетные маршруты [8, 9].

На участках с расположением зимних станций закладывали временные пробные площади. На основании проведенных измерений рассчитывали лесоводственно-таксационные показатели насаждений по общепринятым методикам [10].

В границах пробных площадей закладывали пробные кормовые площадки размером 5×10 м каждая. Их суммарная площадь составила не менее 1 % общего размера пробной площади. На каждой пробной кормовой площадке описывали всю древесно-кустарниковую растительность, включая лесообразующие породы, подрост и подлесок, для каждого растения регистрировали породу и высоту.

Т а б л и ц а 1

### Критерии бонитировки охотничьих угодий по средневзвешенному показателю качества

Criteria for hunting areas valuation according to the weighted average quality indicator

Класс бонитета	Оценка угодий	Средневзвешенный показатель качества угодий
I	Хорошие	200 и более
II	Выше средних	200...130
III	Средние	130...70
IV	Ниже средних	70...30
V	Плохие	30 и менее

Т а б л и ц а 2

### Распределение площади хозяйства по типам охотничьих угодий

Distribution of the farm area by types of hunting areas

Тип охотничьих угодий	Площадь	
	га	%
Сосновые молодняки	34	0,1
Еловые молодняки	838	0,4
Лиственные молодняки	715	0,3
Хвойные средневозрастные леса	1873	0,9
Лиственные средневозрастные леса	4302	1,9
Спелые леса с преобладанием хвойных пород	38 589	18,2
Спелые леса с преобладанием лиственных пород	66 134	31,1
Сосняки заболоченные	3692	1,7
Ольшаники	4758	2,2
Вырубки и несельскохозяйственные культуры	552	0,3
Болота	1549	0,7
Пастбища, сенокосы и поляны	631	0,3
Сельхозугодья	83 912	39,5
Водные угодья	2701	1,3
Прочие земли	2340	1,1
	Всего	212 620
		100,0

Т а б л и ц а 3

### Распределение площади охотхозяйства, в пределах которой обитает вид, по категориям угодий

Distribution of the hunting area, within which the species lives, by categories of land

Категория угодий	Площадь	
	га	%
Хорошие	1380	1,1
Средние	69 826	56,5
Плохие	52 461	42,4
	Всего	123 667
		100

*Примечание.* Средневзвешенный показатель составляет 65,6.

Т а б л и ц а 4

**Лесоводственно-таксационная характеристика участков  
расположения зимних станций лося**

**Forestry-taxation characteristics of the areas of the location of the winter habitation of elk**

Номер пробной площади	Состав древостоя	Возраст, лет	Высота, м	Диаметр ствола, см	Бонитет	Тип леса	Полнота	Наблюдаемые повреждения
1	3Ос	30	11,0	10,0	II	Е кис.	0,9	Поеди и скусывание подроста осины, редко березы, незначительные повреждения ели
	2Б	25	10,2	8,9				
	2Олс	10	10,1	10,0				
	2И	8	4,4	4,2				
	1Е	12	1,5	3,4				
Подрост: 10Е, густота 2,0 тыс. шт./га, возраст 15 лет, высота 2,0 м								
2	3Е	15	3,0	2,1	II	Е чер.	0,8	Скусывание побегов осины и ивы, залом верхушек молодых деревьев
	1С	12	3,0	2,5				
	3Ос	8	5,2	4,1				
	2Б	8	4,8	3,8				
	1Ив	8	4,2	3,5				
3	Вырубка	—	—	—	II	Е чер.	—	Скусывание побегов молодняка осины и ивы, залом верхушек молодых деревьев
	Ос	6	—	—				
	Ив	4	—	—				
	Подрост: 10Е, густота 2,0 тыс. шт./га, возраст 15 лет, высота 2,0 м							
4	4Е	20	2,3	2,1	II	Е кис.	0,8	Скусывание побегов осины и ивы, а также залом верхушек молодых деревьев
	3Ос	10	3,1	2,8				
	2Б	8	5,6	5,5				
	1Ив	6	3,1	3,3				
5	Вырубка	—	—	—	II	Е чер.	0,9	Скусывание веток и побегов осины и ивы
	Ос	8	—	—				
	Ив	6	—	—				
	Подрост: 10Е, густота 3,0 тыс. шт./га, возраст 25 лет, высота 2,0 м							
6	4Ос	10	4,1	2,6	II	Е чер.	0,8	Скусывание побегов осины, а также залом верхушек молодых деревьев березы
	3Б	15	2,2	2,4				
	3Е	15	1,5	1,0				
7	4Е	15	2,2	1,8	II	Е чер.	0,7	Скусывание побегов осины и ивы, снятие коры с ели
	3Ос	10	4,3	2,4				
	3Б	10	4,1	2,0				
8	3Б	12	6,3	4,2	I	Е чер.	0,7	Скусывание побегов осины и ивы, редко березы
	2Ос	10	4,8	4,2				
	2Ив	6	3,2	2,5				
	3Е	20	6,1	2,6				
9	5Ос	15	5,3	4,2	II	Е пкт.	0,7	Скусывание побегов осины, залом верхушек березы
	3Б	15	4,7	3,7				
	2Е	20	3,1	2,4				

В границах каждой площадки все ранее поврежденные побеги маркировали краской. В весенний период (до появления мягких зеленых кормов) регистрировали все повреждения древесно-кустарниковой растительности, причиненные лосями в течение осенне-зимнего периода. Для каждого поврежденного растения указывали породу, высоту растения и высоту, на которой нанесено повреждение, его характер (скус бокового или верхушечного побега). Кроме того, выполняли глазомерную оценку общей поврежден-

ности растения (слабая — менее 25 %, средняя 25...75 %, сильная — более 75 %).

Определение кормовой емкости угодий выполняли по методике Ю.П. Лихацкого и Н.М. Киреева [11]. Наличие потенциального запаса кормов на участках определяли по таблицам А.А. Козловского [12]. Коэффициент восстановления при расчетах принимали по Перовскому [13] для условий Вологодской обл.

Исследования проведены на угодьях общей площадью 212 620 га. На этой территории про-

Т а б л и ц а 5

## Кормовая емкость охотничьих угодий (на зимних станциях)

## Feed capacity of hunting areas (at winter stations)

Номер зимней станции	Древесные породы	Возраст, лет	Полнота насаждений	Площадь зимней станции, га	Запас кормов, т/га	Общий запас корма, т	Коэффициент восстановления	Запас компенсируемого восстановления корма, т	Поедаемость, %	Используемый корм, т
1	Осина	6	0,9	24,0	0,13	3,12	0,4	1,25	34	0,425
	Ива	4		24,0	0,02	0,48	0,5	0,24	50	0,120
2	Осина	12	0,8	9,0	0,20	1,8	0,2	0,36	40	0,144
	Ива	8		9,0	0,04	0,36	0,5	0,18	31,4	0,057
3	Осина	6	0,5	11,0	0,13	1,43	0,4	0,57	30,3	0,173
	Ива	4		11,0	0,02	0,22	0,5	0,11	21,1	0,023
4	Осина	10	0,8	15,0	0,16	2,4	0,2	0,48	56,4	0,271
	Ива	8		15,0	0,05	0,75	0,5	0,38	33,1	0,126
5	Осина	8	0,9	3,0	0,14	0,42	0,2	0,08	55,6	0,044
	Ива	6		3,0	0,03	0,09	0,5	0,05	24,3	0,012
6	Осина	10	0,8	4,0	0,16	0,64	0,2	0,13	56,6	0,074
	Береза	8		4,0	0,03	0,12	0,15	0,02	6,4	0,001
7	Осина	10	0,7	2,0	0,16	0,32	0,2	0,06	62,1	0,037
8	Осина	10	0,7	4,0	0,16	0,64	0,2	0,13	38,4	0,050
	Ива	6		4,0	0,03	0,12	0,5	0,06	15	0,009
	Береза	12		4,0	0,02	0,08	0,15	0,01	7	0,001
9	Осина	15	0,7	2,0	0,20	0,4	0,2	0,08	62,5	0,050
Всего		—	—	148,0	—	13,4	—	4,19	—	1,62

ложено два постоянных учетных маршрута протяженностью 23 км, на которых в течение 3-х лет велся ежегодный контроль численности охотничьих животных. В общей сложности заложено девять пробных площадей и 19 пробных кормовых площадок. Полученные материалы обработаны в соответствии с методами, принятыми в охотничьем хозяйстве, лесоводстве и лесной таксации.

## Результаты и обсуждение

Лось — наиболее промысловый вид в условиях Вологодской обл. [14, 15]. К нему всегда проявляли повышенный интерес как объекту спортивной охоты и сырью для товарных заготовок мясной продукции [16]. В силу неблагоприятных климатических и антропогенных факторов численность популяции лося постоянно изменяется [17, 18].

Результаты проведенных учетов на зимних учетных маршрутах свидетельствуют о том, что численность популяции лося в границах охотхозяйства «Вологодское» в 2017 г. достигала 420, в 2018 г. — 401 и в 2019 г. — 382 особи, т. е. наметилась тенденция сокращения поголовья животных.

В результате анализа материалов лесоустройства выявлены основные типы охотничьих угодий в границах охотхозяйства (табл. 2).

Значительная часть площади в хозяйстве занята спелыми лесами с преобладанием лиственных (31,1 %) и хвойных пород (18,2 %). Такие насаждения относятся к категории плохих с точки зрения кормовой базы лося. Сосновые и еловые молодняки, наиболее востребованные лосем в целях питания, представлены в границах охотхозяйства незначительно (0,1 и 0,4 % соответственно). Также незначительна доля вырубок и несомкнувшихся лесных культур (0,3 %). Такие угодья способствуют росту численности популяции лося, что характерно для условий северо-западных и центральных областей европейской части России [19, 20].

Общая площадь, характерная для обитания лося, составляет 123 667 га (58,2 % общей площади охотхозяйства), из них 1,1 % угодий отнесены к категории хорошие, 56,5 % — к категории средние, 42,4 % — к категории плохие. Средневзвешенный показатель качества охотничьих угодий, в пределах которых обитает лось, составляет 65,6, что позволяет классифицировать угодья ниже среднего уровня и отнести их к IV классу бонитета (табл. 3).

За период наблюдения выявлено предпочтение лосем определенных участков (табл. 4). Как зимой, так и в осенне-весенний период, животные

предпочитают кормиться в молодняках, что, возможно, связано с относительно легким обкусыванием и сгрызанием побегов молодых растений осенью и зимой и доступностью свежих, сочных, вновь появившихся листьев весной.

Наиболее посещаемыми являются участки с наличием молодой древесно-кустарниковой растительности, преимущественно лиственной (осина — до 25 лет, ива — до 10 лет, береза — до 20 лет, ольха серая — до 12 лет).

Из подростка лось также предпочитает лиственные породы. Находясь в подросте ели, лось избирательно обкусывает ветки и побеги молодых деревьев осины, ивы, иногда березы, очень редко сосны и единично — ели. Ель как порода, привлекающая его внимание в качестве кормового объекта, в научной литературе упоминается довольно редко, однако ущерб, причиняемый лосем естественным и искусственным насаждениям ели, существенный [21, 22].

Установлено, что кормовая емкость охотничьих угодий (на зимних станциях) составляет 1,62 т (табл. 5).

Известно, что зимний период потребления веточного корма лосем в рассматриваемых условиях составляет 220...230 дней. Суточная потребность в веточном корме одного лося достигает 7...20 кг в зависимости от возраста и в меньшей степени от пола животного. Таким образом, годовое потребление одним лосем зимнего древесно-веточного корма в районе проведения исследования составляет около 3 т. Это значение признано большинством исследователей [18, 23–25].

С учетом потенциального запаса используемого корма и объема годового потребления кормов одним лосем можно заключить, что на обследованной площади зимних станций (148 га) возможно прокормить 0,5 лосей.

В расчете на всю площадь хозяйства, пригодную для обитания вида (123 667 га), потенциально могут прокормиться 418 особей. Эта численность оптимальная с точки зрения повреждения и восстановления запасов корма в границах охотхозяйства.

## Выводы

На основании проведенных исследований можно заключить, что на территории охотхозяйства «Вологодское» наиболее пригодными для обитания лося являются участки общей площадью 123 667 га, что составляет лишь 58,2 % общей площади хозяйства. В целом кормовая база охотничьего хозяйства характеризуется относительно низким классом бонитета — IV.

Среди лесных участков лось предпочитает кормиться в молодняках, в глубине массива, поедая преимущественно побеги осины и ивы, в меньшей степени ели и березы. Оптимальное число особей

в границах охотхозяйства — 418 лосей. Такое их количество будет обеспечено древесным кормом в наиболее сложный, зимний период времени года.

## Список литературы

- [1] Курхин Ю.П., Данилов П.И., Ивантер Э.В. Млекопитающие Восточной Фенноскандии в условиях антропогенной трансформации таежных экосистем. М.: Наука, 2006. 208 с.
- [2] Медведев А.В. Экономические и организационные инструменты устойчивого использования охотничьих ресурсов России: автореф. дис. ... канд. экон. наук. М., 2010. 23 с.
- [3] Неистощительная охота: лучшие примеры устойчивого использования охотничьих животных // Серия технических публикаций СИС, 2009. № 1. 132 с.
- [4] Павлов М.П. Лось в Кировской области // Лесное хозяйство, 1974. № 9. С. 81–83.
- [5] Павлов М.П. Лось — почему его становится меньше // Лесной вестник, 2001. № 5. С. 105–113.
- [6] Грибов С.Е. Влияние природных и антропогенных факторов на качество древесины хвойных пород в культурах средней и южной подзона тайги (на примере Вологодской области): дис. ... канд. с.-х. наук. Вологда; Молочное, 2007. 180 с.
- [7] Леса земли Вологодской. Вологда: Легия, 1999. 296 с.
- [8] Приклонский С.Г. Зимний маршрутный учет охотничьих животных // Тр. Окского государственного запovedника. Вып. 9. Методы учета охотничьих животных в лесной зоне. Рязань: Московский рабочий. Рязанское отд-ние, 1973. С. 35–50.
- [9] Феклистов П.А., Худяков В.В. Основы охотоведения. Архангельск: АГТУ, 2001. 19 с.
- [10] Ануцин Н.П. Лесная таксация. М.: Лесная пром-сть, 1982. 552 с.
- [11] Лихацкий Ю.П., Киреев Н.М. Практикум по основам биотехнии. Воронеж: Изд-во ВГЛТУ, 2000. 92 с.
- [12] Козловский А.А. Лесные охотничьи угодья. М.: Лесная пром-сть, 1971. 159 с.
- [13] Перовский М.Д. Методы управления популяциями охотничьих животных России. М.: Лион, 2003. 251 с.
- [14] Тимофеева Е.К. Лось (экология, распространение, хозяйственное значение). Л.: Изд-во Ленинградского ун-та, 1974. 168 с.
- [15] Верещагин Н.К., Русаков О.С. Современное состояние природных ресурсов, экология и вопросы хозяйственного использования копытных Северо-Запада СССР // Копытные Северо-Запада СССР. Л.: Наука, 1979. С. 63–293.
- [16] Филонов Л.П. Лось. М.: Лесная пром-сть, 1983. 248 с.
- [17] Ломанов И.К. Факторы, влияющие на распределение населения лося в Центральном экономическом районе // Биологические основы охраны и воспроизводства охотничьих ресурсов. М.: ЦНИЛ Главохоты РСФСР, 1988. С. 54–77.
- [18] Данилов П.И. Охотничьи звери Карелии: экология, ресурсы, управление, охрана. М.: Наука, 2005. 340 с.
- [19] Лебле Б.Б. Изменение численности копытных в Архангельской области под влиянием рубок леса // Роль диких копытных животных в лесном хозяйстве. М.: Изд-во АН СССР, 1959. Вып. 13. С. 42–52.
- [20] Сорокина Л.И. Изменение экологической ценности угодий под воздействием лесохозяйственных мероприятий // Влияние хозяйственной деятельности человека на популяции охотничьих животных и среду обитания. Киров: ВНИИОЗ, 1980. Т. 1. С. 31–34.



- [21] Мерзленко М.Д. Лось и культуры ели // Лесное хозяйство, 1974. № 3. С. 54–55.
- [22] Мельник П.Г., Донской С.А. Влияние лося на качество древесины ели // Леса Евразии — Белорусское Поозерье: Матер. XII Междунар. конф. молодых ученых, посвященной 145-летию со дня рождения профессора Г.Ф. Морозова, Браслав, 30 сентября — 06 октября 2012 г. М.: МГУЛ, 2012. С. 282–287.
- [23] Жарков И.В. О методах, применяемых в США при изучении роли копытных в лесу // Сообщение Ин-та леса АН СССР, 1959. Вып. 13. С. 32–43.
- [24] Данилов Д.Н. Повышение продуктивности охотничьих угодий // Научные основы охраны природы, 1973. Вып. 3. С. 142.
- [25] Дунин В.Ф., Янушко А.Д. Оценка кормовой базы лося в лесных угодьях. Минск: Урожай, 1979. 234 с.

## Сведения об авторах

**Самарин Алексей Евгеньевич** — аспирант кафедры лесного хозяйства ФГБОУ ВО «Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н.В. Верещагина», samarin.a84@mail.ru

**Корчагов Сергей Анатольевич** — д-р с.-х. наук, профессор, директор ООО «Вологодский лесной научно-инновационный консалтинговый центр», kors45@yandex.ru

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

**Смирнов Сергей Александрович** — магистрант кафедры лесного хозяйства Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н.В. Верещагина», ssaass35@mail.ru

Поступила в редакцию 30.04.2021.

Принята к публикации 19.05.2021.

## EUROPEAN ELK FODDER BASE EVALUATION IN FORESTRY FUND OF VOLOGODSKOE HUNTING ESTABLISHMENT

A.E. Samarin<sup>1</sup>, S.A. Korchagov<sup>2</sup>, S.E. Gribov<sup>1</sup>, S.A. Smirnov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Vologda State Dairy Academy named after N.V. Vereshchagin, 2, Schmidt's st., 160555, Molochnoye village, Vologda, Russia

<sup>2</sup>LLC «Vologda Forest Research and Innovation Consulting Center», 54A, office. 70, Technical alleyway, 160000, Vologda, Russia

griboff.s.e@mail.ru

Using the example of the hunting farm «Vologodskoye», an assessment of the stocks of the fodder base of the European elk population was carried out and the optimal number of individuals from the point of view of damage and restoration of feed stocks was determined. At winter stations, it was found that the most visited areas by elk are plantations with the presence of young trees and shrubs, mainly deciduous — aspen (up to 25 years old), willow (up to 10 years old), birch (up to 20 years old), gray alder (up to 12 years old). The potential supply of branch fodder at winter stations reaches 1.62 tons, the winter consumption period is 220–230 days. The daily requirement for twig feed for one elk is 7–20 kg (depending on the age of the individuals), the annual consumption of winter wood-twig feed by one moose is about 3 tons. It has been established that, taking into account the potential stock of used feed and the volume of annual feed consumption, it is possible to feed 0,5 elk in the surveyed area of winter habitats, and 418 individuals, calculated for the entire area of the farm suitable for the habitat of the species.

**Keywords:** European elk, hunting use, hunting grounds, food supply, winter stations, food storage capacity

**Suggested citation:** Samarin A.E., Korchagov S.A., Gribov S.E., Smirnov S.A. *Otsenka kormovoy bazy losya evropeyskogo v lesnom fonde okhotkhozyaystva «Vologodskoe»* [European elk fodder base evaluation in forestry fund of Vologodskoe hunting establishment]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 5, pp. 30–36.

DOI: 10.18698/2542-1468-2021-5-30-36

## References

- [1] Kurkhinen Yu.P., Danilov P.I., Ivanter E.V. *Mlekopitayushchie Vostochnoy Fennoskandii v usloviyakh antropogennoy transformatsii taezhnykh ekosistem* [Mammals of Eastern Fennoscandia in the context of anthropogenic transformation of taiga ecosystems]. Moscow: Nauka, 2006, 208 p.
- [2] Medvedev A.V. *Ekonomicheskie i organizatsionnye instrumenty ustoychivogo ispol'zovaniya okhotnich'ikh resursov Rossii* [Economic and organizational tools for sustainable use of hunting resources in Russia]. Dis. ... Cand. Sci. (Econ.). Moscow, 2010, 23 p.
- [3] *Neistoshchitel'naya okhota: luchshie primery ustoychivogo ispol'zovaniya okhotnich'ikh zhivotnykh* [Sustainable hunting: the best examples of sustainable use of game animals]. *Seriya tekhnicheskikh publikatsiy SIC* [Series of technical publications SIC], 2009, no. 1, 132 p.

- [4] Pavlov M.P. Pavlov M.P. *Los' v Kirovskoy oblasti* [Elk in the Kirov region]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry], 1974, no. 9, pp. 81–83.
- [5] Pavlov M.P. *Los' — pochemu ego stanovitsya men'she* [Elk — why it is getting smaller]. *Lesnoy Vestnik*, 2001, no. 5, pp. 105–113.
- [6] Gribov S.E. *Vliyaniye prirodnykh i antropogennykh faktorov na kachestvo drevesiny khvoynykh porod v kul'turakh sredney i yuzhnoy podzony taygi (na primere Vologodskoy oblasti)* [The influence of natural and anthropogenic factors on the quality of coniferous wood in the cultures of the middle and southern subzones of the taiga (on the example of the Vologda Oblast)]. *Dis. Cand. Sci. (Agric.)*. Vologda-Molochnoe, 2007, 180 p.
- [7] *Lesy zemli Vologodskoy* [Forests of the Vologda land]. Vologda: Legiya, 1999, 296 p.
- [8] Priklonskiy S.G. *Zimniy marshrutnyy uchety okhotnich'ikh zhitovnykh* [Winter route registration of hunting animals]. *Tr. Okskogo gos. zapovednika. Vyp. 9. Metody ucheta okhotnich'ikh zhitovnykh v lesnoy zone* [Tr. Oksky state reserve. Issue 9. Methods of accounting for game animals in the forest zone]. Ryazan: Moscow worker. Ryazan branch, 1973, pp. 35–50.
- [9] Feklistov P.A., Khudyakov V.V. *Osnovy okhotovedeniya* [Basics of hunting]. Arkhangelsk: AGTU, 2001, 19 p.
- [10] Anuchin N.P. *Lesnaya taksatsiya* [Forest taxation]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Timber industry], 1982, 552 p.
- [11] Likhatskiy Yu.P., Kireev N.M. *Praktikum po osnovam biotekhnii* [Workshop on the basics of biotechnology]. Voronezh: VGLTU, 2000, 92 p.
- [12] Kozlovskiy A.A. *Lesnye okhotnich'i ugod'ya* [Forest hunting grounds]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Timber industry], 1971, 159 p.
- [13] Perovskiy M.D. *Metody upravleniya populyatsiyami okhotnich'ikh zhitovnykh Rossii* [Methods for managing populations of game animals in Russia]. Moscow: Lion, 2003, 251 p.
- [14] Timofeeva E.K. *Los' (ekologiya, rasprostraneniye, khozyaystvennoye znachenie)* [Elk (ecology, distribution, economic value)]. Leningrad: Publishing house of Leningrad University, 1974, 168 p.
- [15] Vereshchagin N.K., Rusakov O.S. *Sovremennoye sostoyaniye prirodnykh resursov, ekologiya i voprosy khozyaystvennogo ispol'zovaniya kopytnykh Severo-Zapada SSSR* [The current state of natural resources, ecology and issues of economic use of ungulates in the North-West of the USSR]. *Kopytnye Severo-Zapada SSSR* [Ungulates of the North-West of the USSR]. Leningrad: Nauka, 1979, pp. 63–293.
- [16] Filonov L.P. *Los'* [Elk]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Timber industry], 1983, 248 p.
- [17] Lomanov I.K. *Faktory, vliyayushchie na raspredeleniye naseleniya losya v Tsentral'nom ekonomicheskom rayone* [Factors Affecting the Distribution of the Elk Population in the Central Economic Region]. *Biologicheskie osnovy okhrany i vosproizvodstva okhotnich'ikh resursov* [Biological Foundations of Protection and Reproduction of Hunting Resources]. Moscow: TsNIL Glavokhoty RSFSR, 1988, pp. 54–77.
- [18] Danilov P.I. *Okhotnich'i zveri Karelii: ekologiya, resursy, upravleniye, okhrana* [Hunting animals of Karelia: ecology, resources, management, protection]. Moscow: Nauka, 2005, 340 p.
- [19] Leble B.B. *Izmeneniye chislennosti kopytnykh v Arkhangel'skoy oblasti pod vliyaniem rubok lesa* [Changes in the number of ungulates in the Arkhangelsk region under the influence of forest felling]. *Rol' dikikh kopytnykh zhitovnykh v lesnom khozyaystve* [The role of wild ungulates in forestry]. Moscow: Publishing house Acad. Sciences of the USSR, 1959, iss. 13, pp. 42–52.
- [20] Sorokina L.I. *Izmeneniye ekologicheskoy tsennosti ugodiy pod vozdeystviem lesokhozyaystvennykh meropriyatiy* [Changes in the ecological value of lands under the influence of forestry activities]. *Vliyaniye khozyaystvennoy deyatel'nosti cheloveka na populyatsii okhotnich'ikh zhitovnykh i sredi obitaniya* [Influence of human economic activity on the populations of hunting animals and the environment]. Kirov: VNIIOZ, 1980, t. 1, pp. 31–34.
- [21] Merzlenko M.D. *Los' i kul'tury eli* [Elk and spruce crops]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry], 1974, no. 3, pp. 54–55.
- [22] Mel'nik P.G., Donskoy S.A. *Vliyaniye losya na kachestvo drevesiny eli* [The influence of elk on the quality of spruce wood]. *Lesa Evrazii — Belorusskoe Poozer'e: Materialy XII Mezhdunarodnoy konferentsii molodykh uchenykh, posvyashchennoy 145-letiyu so dnya rozhdeniya professora G.F. Morozova* [Forests of Eurasia — Belarusian Poozerie: Proceedings of the XII International Conference of Young Scientists dedicated to the 145th anniversary of the birth of Professor G.F. Morozova], Braslav, September 30 — October 06, 2012. Moscow: MGUL, 2012, pp. 282–287.
- [23] Zharkov I.V. *O metodakh, primenyaemykh v SShA pri izuchenii roli kopytnykh v lesu* [About the methods used in the USA in studying the role of ungulates in the forest]. *Soobshcheniye In-ta lesa AN SSSR* [Communication of the Institute of Forest of the Academy of Sciences of the USSR], 1959, v. 13, pp. 32–43.
- [24] Danilov D.N. *Povysheniye produktivnosti okhotnich'ikh ugodiy* [Increasing the productivity of hunting grounds]. *Nauchnye osnovy okhrany prirody* [Scientific bases of nature protection], 1973, iss. 3, p. 142.
- [25] Dunin V.F., Yanushko A.D. *Otsenka kormovoy bazy losya v lesnykh ugod'yakh* [Evaluation of the fodder base for elk in forest lands]. Minsk: Harvest, 1979, 234 p.

## Authors' information

**Samarin Aleksey Evgenievich** — Post-graduate student of the Department of Forestry of the Vologda State Dairy Academy named after N.V. Vereshchagin, samarin.a84@mail.ru

**Korchagov Sergey Anatolyevich** — Dr. Sci. (Agriculture), Professor, Director of LLC Vologda Forest Research and Innovation Consulting Center, kors45@yandex.ru

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

**Smirnov Sergey Aleksandrovich** — Master's student of the Department of Forestry of the Vologda State Dairy Academy named after N.V. Vereshchagin, ssaass35@mail.ru

Received 30.04.2021.

Accepted for publication 19.05.2021.

## ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСНОЙ КАДАСТР КАК ОСНОВА ИНВЕНТАРИЗАЦИИ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ ДЛЯ КАТЕГОРИИ «ЛЕСНЫЕ ЗЕМЛИ»

А.М. Потапенко<sup>1</sup>, Н.В. Толкачева<sup>1</sup>, В.В. Бутьковец<sup>1</sup>,  
А.В. Шатравко<sup>2</sup>, П.Е. Мохначев<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ГНУ «Институт леса Национальной академии наук Беларуси», 246050, Республика Беларусь, г. Гомель, ул. Пролетарская, д. 71

<sup>2</sup>ГЛХУ «Логойский лесхоз», 223110, Республика Беларусь, г. Логойск, ул. Лесная, д. 2

<sup>3</sup>Ботанический сад Уральского отделение РАН, 620134, Россия, Екатеринбург, ул. 8 Марта, д. 202 а

formelior@tut.by

Приведены данные оценки динамики покрытых лесом земель Республики Беларусь. Представлена характеристика лесного фонда за период 1993–2019 гг. Дана оценка парниковых газов в лесном фонде Республики Беларусь по материалам положений международных договоров и документов, принятых в рамках реализации Рамочной конвенции ООН об изменении климата (от 9 мая 1992 г.) на международном и национальном уровне, включая Парижское соглашение (от 12 декабря 2019 г.), положений нормативных правовых актов Республики Беларусь, по результатам научных исследований, информации Министерства лесного хозяйства и данных Государственного лесного кадастра. Рассчитаны выбросы/стоки CO<sub>2</sub> по категории «Лесные земли» в соответствии с Руководящими принципами национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК (2006 г.) с использованием метода разности запасов. Установлено, что в результате целенаправленной работы по воспроизводству лесов и лесовыращиванию за 26-летний период в Республике Беларусь достигнута положительная динамика лесного фонда: лесопокрытая площадь увеличилась на 919,6 тыс. га — с 7360,7 тыс. га до 8280,3 тыс. га; лесистость — на 4,3 % и достигла 39,9 %; общий запас древесины на корню увеличился на 739,5 млн. м<sup>3</sup> — с 1092,3 до 1831,8 млн м<sup>3</sup> (в том числе в спелых и перестойных насаждениях на 300,3 млн м<sup>3</sup>, и составил в них 348,8 млн м<sup>3</sup>); запас насаждений на 1 га покрытых лесом земель возрос на 72,8 м<sup>3</sup> и составил 221,2 м<sup>3</sup>/га; запас спелых и перестойных насаждений возрос в среднем на 52,6 м<sup>3</sup> и достиг 273,9 м<sup>3</sup>/га.

**Ключевые слова:** парниковые газы, поглощение, выбросы, лесное хозяйство, биомасса, инвентаризация, государственный лесной кадастр

**Ссылка для цитирования:** Потапенко А.М., Толкачева Н.В., Бутьковец В.В., Шатравко А.В., Мохначев П.Е. Государственный лесной кадастр как основа инвентаризации парниковых газов для категории «Лесные земли» // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 5. С. 37–50. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-5-37-50

В последние десятилетия в мире все большее внимание уделяется проблеме парникового эффекта. Основная глобальная задача, стоящая перед человечеством заключается в сохранении стабильности климатической системы. Как отмечают А.С. Исаев и др. [1], если не будут приняты эффективные меры по ограничению выбросов CO<sub>2</sub>, его концентрация в атмосфере нашей планеты до 2050–2070 гг. увеличится вдвое.

В круговороте углерода на планете мощными стабилизаторами выступают лесные насаждения [2]. В соответствии с Экологической Стратегией Группы Всемирного Банка (2012–2022 гг.) для недопущения увеличения количества CO<sub>2</sub> в атмосфере Земли следует проводить работы, направленные на содействие устойчивому лесопользованию с акцентом на воспроизводство лесных ресурсов и повышение продуктивности лесов и их экологических функций, в том числе депонирования углерода [3].

В 2005 г. Беларусь присоединилась к Киотскому протоколу Рамочной конвенции ООН об изменении климата (РКИК ООН) [4]. В Первом национальном сообщении в соответствии с обяза-

тельствами Республики Беларусь по РКИК впервые были учтены объемы выбросов парниковых газов (далее — ПГ).

Продолжением Киотского протокола РКИК ООН стало Парижское соглашение [5], принятое в 2015 г. и вступившее в силу в ноябре 2016 г. В рамках этого соглашения Республика Беларусь приняла на себя обязательства сократить выбросы парниковых газов к 2030 г. не менее чем на 28 % относительно уровня 1990 г. без учета выбросов и стоков парниковых газов в секторе «Землепользование, изменение землепользования и лесное хозяйство» (ЗИЗЛХ) (согласно Руководящим принципам национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК 2006 г. инвентаризация парниковых газов осуществляется по 5 секторам: 1. Энергетика, 2. Промышленные процессы и использование продуктов, 3. Сельское хозяйство, 4. Землепользование, изменение землепользования и лесное хозяйство и 5. Отходы).

Сектор ЗИЗЛХ был исключен для целей определения обязательств вследствие высокой неопределенности в методических вопросах оценки выбросов и абсорбции парниковых

газов в Республике Беларусь. Данный сектор, и в частности категория «Лесные земли», обладает потенциалом для депонирования  $\text{CO}_2$  (сектор Землепользование, изменение землепользования и лесное хозяйство включает следующие категории: лесные земли, возделываемые земли, пастбище, водно-болотные угодья, поселения и прочие земли).

В контексте Парижского соглашения проблема объективного и полного учета стоков углерода и углеродного бюджета лесов в условиях климатических изменений приобретает первостепенное значение [6].

### Цель работы

Цель работы — совершенствование сбора и обработки информации для базы данных инвентаризации парниковых газов для категории «Лесные земли» сектора «Землепользование, изменение землепользования и лесное хозяйство» на основе данных Государственного лесного кадастра Республики Беларусь.

### Объекты и методика исследований

Объекты исследований — лесной фонд Республики Беларусь. Исследования основаны на анализе положений международных договоров, документов, принятых в рамках реализации Рамочной конвенции ООН об изменении климата (РКИК ООН) на международном и национальном уровне, включая Парижское соглашение (принятое на 21-й сессии Конференции Сторон РКИК ООН в г. Париже 12 декабря 2015 г., подписанное 22.04.2016 г.), на положениях нормативных правовых актов Республики Беларусь, результатах научных исследований, информации Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь, результатах реализации международных проектов в области изменения климата, данных Государственного лесного кадастра.

Для расчета выбросов/стоков ПГ были использованы фактические данные, полученные из ЛРУП «Белгослес» (Государственный учет лесного фонда Республики Беларусь за 1993, 2000 гг., Государственный лесной кадастр Республики Беларусь за 2003–2019 гг.), Национального статистического комитета Республики Беларусь (интерактивная информационно-аналитическая система распространения официальной статистической информации, ежегодный статистический сборник), с использованием национальных коэффициентов для расчета выбросов ПГ [7].

Расчет выбросов/стоков ПГ ( $\text{CO}_2$ ) для категории «Лесные земли» выполнен на основе утвержденной Министерством лесного хозяйства «Методики оценки общего и годичного депонирования углерода лесами Республики Беларусь» [7]

с использованием конверсионного подхода при оценке содержания углерода в компонентах лесной экосистемы на основе сведений о древесных запасах лесообразующих пород в соответствии с Руководящими принципами национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК (2006) [8] для временного интервала 1993–2019 гг.

### Результаты и обсуждение

В соответствии с Руководящими принципами МГЭИК оценка изменений накопления углерода проводится в двух основных пулах углерода: биомассе и органическом углероде почвы. Углерод упоминается как мертвое органическое вещество, т. е. фактор, который следует учитывать в последующих работах по составлению кадастров. В Марракешском соглашении конкретно указано, что в кадастре должна быть представлена информация об изменениях накопления углерода в пяти пулах: надземной и подземной биомассе, лесной подстилки, валежной древесине и органическом углероде почвы. Уменьшения объема содержания углерода в одном пуле должно компенсироваться увеличениями в другом [9]. Например, содержание углерода в пулах биомассы уменьшаются после возмущений, однако в пуле лесной подстилки и валежной древесине может увеличиться. Таким образом, изменение в рамках одного пула может быть более значительным по сравнению с результирующим изменением в совокупности пулов)

По отношению к методам инвентаризации ПГ используется три уровня [7]:

Уровень 1. Методы этого уровня являются самыми простыми в использовании; соответствующие уравнения и значения параметров по умолчанию (например, коэффициенты выбросов и изменений запасов) представлены в Руководящих принципах национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК.

Уровень 2. Используется тот же самый методологический подход, что и для уровня 1, но применяются коэффициенты выбросов и изменений запасов, полученные на данных для конкретной страны или конкретного района, для наиболее важных категорий землепользования.

Уровень 3. Используются методы более высокого порядка, включая модели и системы измерений для кадастров, адаптированные к конкретным национальным условиям, повторяющимся в ходе времени, а также применяются данные о деятельности высокого разрешения и разукрупнение до масштабов субнационального уровня. Эти методы более высокого порядка позволяют получить оценочные значения с более высокой степенью достоверности, чем более низкие уровни. При необходимости можно сочетать указанные уровни методологических подходов.



Важным фактором, влияющим на расчетное значение накопления углерода лесами по основным пулам, является выбор базовых уравнений в расчетах. Так для пула «надземная биомасса» в странах Евросоюза (ЕС) нет единого подхода, 62 % стран ЕС используют метод «поступлений-потерь» [10], другие страны, включая Россию [11] и Казахстан [12] используют метод «разности запасов». Источники данных для оценки изменений запасов углерода в живой биомассе также различаются в разных странах. В большинстве стран осуществляются программы по сбору и анализу данных в целях дальнейшего повышения полноты и точности оценок главным образом изменений запасов углерода.

В некоторых странах расчет углеродного баланса лесов проводится с помощью специализированных компьютерных моделей. Так, в России используют методику региональной оценки бюджета углерода лесов (РОБУЛ) [11], в США — модель бюджета углерода канадского лесного сектора (CBM-CFS3) [13], американскую бюджетную модель локального пространственного уровня (U.S. FORCARB2) [14], в Финляндии — имитационную модель EFIMOD2 [15] и т. д.

В странах ЕС три основные категории землепользования — лесные земли, возделываемые земли и пастбища, включая их подкатегории, в основном завершаются количественными оценками. Однако в рамках некоторых подкатегорий других категорий землепользования все еще имеются некоторые пробелы, которые в значительной степени связаны с отсутствием методов в Руководящих принципах национальных инвентаризаций ПГ МГЭИК для оценки выбросов парниковых газов, допущением равновесия в рамках методов Уровня 1 или осуществлением положения о незначительности категории в соответствии с Решением 24 СР/19 Конференции Сторон РКИК ООН [16]. Таким образом, часто отсутствие количественных оценок также связано с отсутствием земель, переустраиваемых в определенные подкатегории, или с отсутствием органических почв.

Углеродный баланс для категории «Лесные земли» представляется многими государствами. Среди оценок имеются незначительные вариации. Влияние изменчивости на оценку углеродного пула считается незначительным, даже если ее трудно оценить в количественном выражении. Например, в лесных кадастрах углеродный резервуар надземной биомассы определяется в соответствии с пороговым значением минимального диаметра отобранных деревьев (т. е. диаметра древостоя на высоте груди) в диапазоне от 0 до 7,5 см.

Что касается подземной биомассы, то информации о содержании в ней углерода недостаточно. Мертвая древесина в основном отличается по вре-

мени распада и пороговым значениям диаметров и высоты/длины отрезков древесины. Подстилка либо оценивается независимо, либо включается в почву. В почвах изменения запасов углерода рассчитываются в соответствии с различными методами и переходными периодами. Обычно запасы углерода в подстилке биомассы учитываются только для оценки выбросов от лесных пожаров.

В целом Руководящие принципы национальных инвентаризаций МГЭИК допускают применение любого из расчетных методов [8, 17] в зависимости от их особенностей. Однако зачастую, несмотря на сопоставимость расчетов в модельном эксперименте, результаты, полученные различными научными коллективами с помощью иных методов, существенно расходятся, поэтому исследования в этом направлении требуют продолжения [18].

Оценку депонирования углерода в Республике Беларусь проводили разные авторы. Их данные различаются, что связано как с особенностями методологического подхода, так и с изменениями запаса древесины в лесном фонде с течением времени. При этом, к сожалению, вопросу депонирования углерода в мертвой древесине, лесной подстилке, почвах и болотах в научной литературе уделяется недостаточно внимания [19].

Оценка содержания углерода проводится по пробным площадям или по данным о запасах и приростах древесины и фитомассы по учетам лесного фонда. Использование данных учета лесного фонда позволяет получить результаты быстрее и с наименьшими затратами, а точность этого метода часто даже выше, чем экстраполяция материалов пробных площадей за пределы исследованных пород, классов бонитета, возраста и полноты древостоя. Поэтому для расчетов запаса углерода в древесине и фитомассе насаждений используются материалы учета лесного фонда, что неоднократно апробировано [16].

Государственный лесной кадастр — это информационная система, включающая в себя информацию о количественных, качественных и иных характеристиках лесов, происходящих в них изменениях, а также информацию об экономической оценке лесных ресурсов, их объеме, характере и режиме использования [20]. Государственный лесной кадастр в Республике Беларусь ведется начиная с 2002 г. в соответствии с принятым Постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 1031 от 12.07.2001 г. «Об утверждении порядка ведения государственного лесного кадастра».

Информационной базой для ведения учетной документации Государственного лесного кадастра являются материалы лесоустройства, Государственного учета лесов, а также отраслевые — геоинформационная система «Лесные ресурсы»,

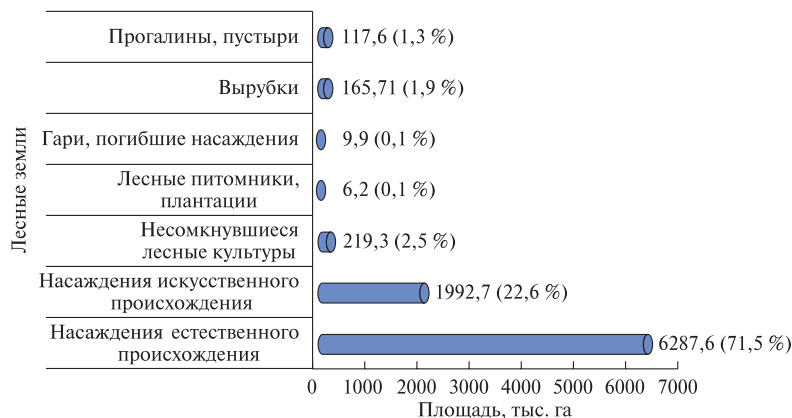


Рис. 1. Распределение лесных земель по данным Государственного лесного кадастра (на 01.01.2020 г.)

Fig. 1. Distribution of forest lands according to the State Forest Cadastre (as of 01.01.2020)



Рис. 2. Распределение нелесных земель по данным Государственного лесного кадастра (на 01.01.2020 г.)

Fig. 2. Distribution of non-forest lands according to the State Forest Cadastre (as of 01.01.2020)

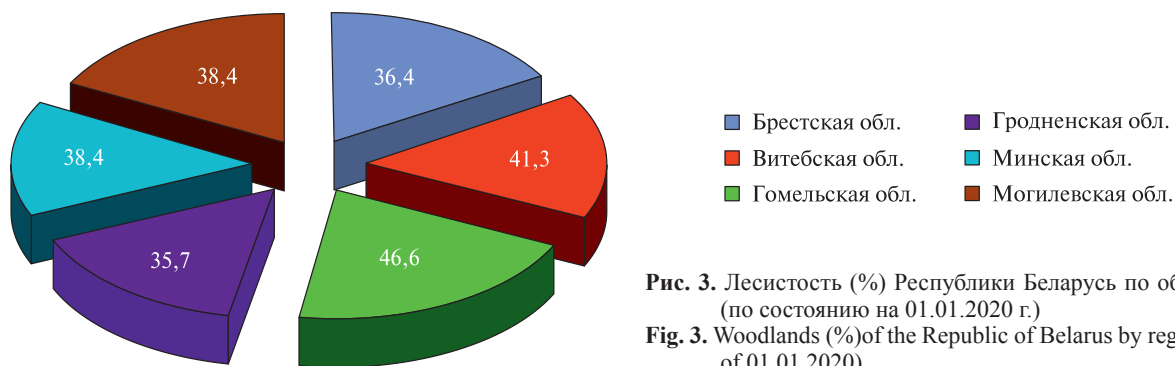


Рис. 3. Лесистость (%) Республики Беларусь по областям (по состоянию на 01.01.2020 г.)

Fig. 3. Woodlands (%) of the Republic of Belarus by regions (as of 01.01.2020)

банк данных «Лесной фонд» и другая учетная и отчетная документация лесохозяйственной деятельности юридического лица, ведущего лесное хозяйство.

Лесной фонд Республики Беларусь представлен лесными и нелесными землями, предназначенными для ведения лесного хозяйства.

Лесные земли (рис. 1) Республики Беларусь подразделяются на следующие категории:

– *покрытые лесом земли* (94,1 %, из них леса естественного происхождения — 71,5 %, искусственного — 22,6 %);

– *не покрытые лесом земли*, но предназначенные для его восстановления (вырубки, гари, погибшие лесные насаждения, прогаины составляют 3,3 % общей площади лесных земель);

– *земли, занятые питомниками, плантациями и несомкнувшимися лесными культурами* (2,6 % общей площади лесных земель).

К нелесным землям (рис. 2) относятся земли, не занятые лесной растительностью: пахотные земли, земли под постоянными культурами (сады, ягодники), луговые земли, земли под застройкой, под водными объектами, нарушенные земли, неиспользуемые и другие земли, долевое участие которых в составе нелесных земель составляет менее 10 %.

Наибольшая часть нелесных земель представлена землями под болотами, они составляют 63,9 % общей их площади, а также землями под дорогами, просеками и иными транспортными коммуникациями – 14,9 % [19].

В соответствии с Лесным кодексом Республики Беларусь леса Беларуси подразделяются на следующие категории: природоохранные, рекреационно-оздоровительные, защитные и эксплуатационные.

В настоящее время лесной фонд Республики Беларусь занимает 9620,9 тыс. га [21]. Площадь земель, покрытых лесом, составляет 8280,3 тыс. га с общим запасом древесины 1831,8 млн м<sup>3</sup>. Распределение лесов по территории республики неравномерное. Лесистость республики составляет 39,9 %. Среди областей республики минимальную лесистость имеет Гродненская — 35,7 %, а максимальную — Гомельская (46,6 %) области (рис. 3).

Основным лесофондодержателем в Республике Беларусь является Министерство лесного хозяйства — 87,9 % общей площади лесов республики.

По породной структуре лесов (табл. 1) в Республике Беларусь преобладают хвойные леса (4853,6 тыс. га), в частности, формации сосновых лесов (4076,9 тыс. га или 49,2 % общей площади покрытых лесом земель). Еловые леса произрастают на площади 775,0 тыс. га (9,4 %), реже представлены пихта, лиственница и кедр.

В твердолиственных лесах Беларуси основное место занимают дубравы (287,4 тыс. га или 3,5 % общей площади покрытых лесом земель), реже встречаются ясеневые и грабовые насаждения, кленовики — еще реже встречаются и занимают совсем небольшие участки.

В мягколиственных лесах (3007,0 тыс. га) преобладают березовые насаждения — 1925,8 тыс. га (23,3 % общей площади покрытых лесом земель), образовавшиеся как производные от сосновых, еловых и дубовых лесов. Они представлены в основном березой повислой (73,9 %). Остальную часть березняков составляет береза пушистая, произрастающая преимущественно в низинных и переходных болотах с различной степенью заболоченности. Ольховые леса представлены насаждениями ольхи черной (732,9 тыс. га или 8,9 % общей площади покрытых лесом земель), распространенными на низинных болотах по всей республике и ольхи серой (151,9 тыс. га или 1,8 %), произрастающей главным образом на севере страны.

В возрастной структуре лесов преобладают средневозрастные (39,9 %) насаждения. Молодняки занимают 17,7 %, приспевающие — 25,8 %, спелые и перестойные — 16,6 % общей площади покрытых лесом земель. Средний возраст лесов — 56 лет.

На основании имеющихся сведений и данных, предоставленных РУП «Белгослес», проведена оценка динамики показателей лесного фонда

Т а б л и ц а 1

**Общие показатели лесного фонда по состоянию на 01.01.2020 г.**

**General indicators of the forest fund as of 01.01.2020**

Наименование показателя	Площадь		Запас древесины	
	тыс. га	%	млн м <sup>3</sup>	%
1. Общая площадь земель лесного фонда	9620,9	100	—	—
1.1. Лесные земли	8799,1	91,5	—	—
2. Общая площадь покрытых лесом земель по группам возраста	8280,3	86,1	—	—
2.1. Хвойные насаждения	4853,6	58,6	1206,8	65,9
Молодняки	954,2	19,7	83,0	6,9
Средневозрастные	1766,3	36,4	477,2	39,5
Приспевающие	1457,7	30,0	444,2	36,8
Спелые и перестойные	675,4	13,9	202,5	16,8
2.2. Твердолиственные насаждения	337,7	4,1	61,9	3,4
Молодняки	78,7	23,2	5,1	8,2
Средневозрастные	165,5	49,0	33,8	54,6
Приспевающие	39,6	11,7	9,3	15,0
Спелые и перестойные	53,9	15,9	13,7	22,1
2.3. Мягколиственные насаждения	3028,8	36,6	562,3	30,7
Молодняки	430,2	14,2	220,2	39,5
Средневозрастные	1369,7	45,2	230,9	41,1
Приспевающие	638,6	21,1	150,6	26,8
Спелые и перестойные	590,3	19,5	158,6	28,2
Итого запас древесины	—	—	1831,8	—

Республики Беларусь за период с 01.01.1994 по 01.01.2020 гг. Данные о площади лесов, породно-возрастном составе за 1993–2000 гг. были получены от Государственного учета лесного фонда, а с 2003 г. по 2019 г. — от ЛРУП «Белгослес».

В динамике показателей площади лесного фонда за 1993–2019 гг. прослеживаются в основном положительные изменения. Так, за исследуемый период площадь покрытых лесом земель в республике увеличилась (рис. 4). При этом сохранилась тенденция увеличения количества приспевающих, спелых и перестойных лесов на фоне снижения удельного веса молодняков. За последнее 26 лет в результате передачи в лесной фонд низкопродуктивных сельскохозяйственных земель площадь земель лесного фонда увеличивалась на 944,82 тыс. га или 10,9 %. Уменьшение общей площади лесного фонда относительно предыдущих лет наблюдалось лишь в 2004 г. и 2007 г., и было связано главным образом с изъятием нелесных земельных участков, занятых газопроводами, нефтепроводами, линиями электропередачи и др. Площадь покрытых лесом

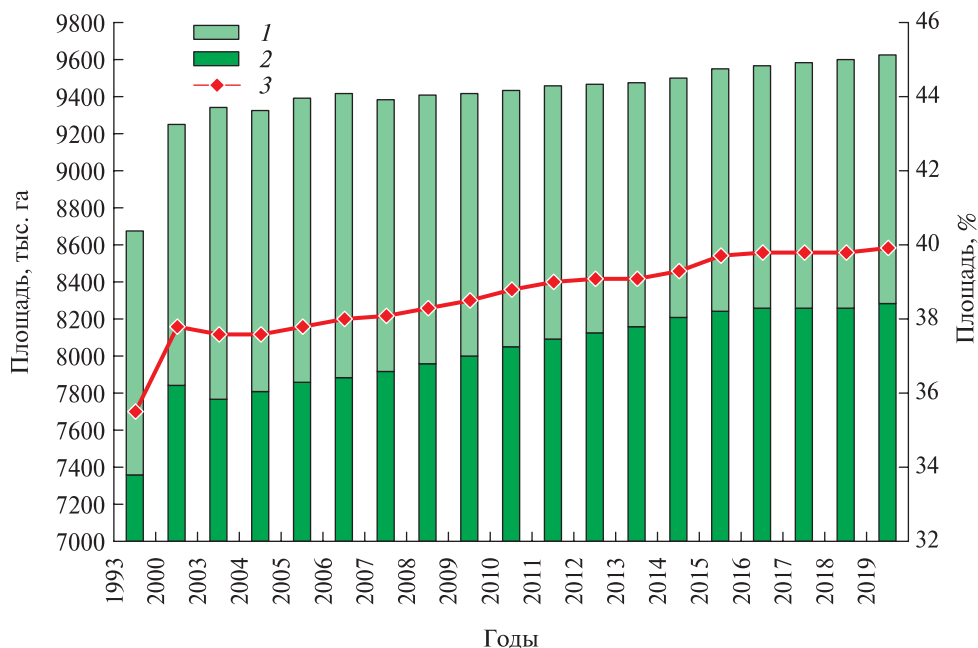


Рис. 4. Динамика земель лесного фонда Республики Беларусь за период 1993–2019 гг.:

1 — площадь земель лесного фонда; 2 — площадь покрытых лесом земель; 3 — лесистость

Fig. 4. Dynamics of forest land in the Republic of Belarus for the period 1993–2019: 1 — area of forestry land; 2 — area of forested lands; 3 — woodlands

земель за этот период увеличилась на 919,63 тыс. га (на 12,5 %). Как следствие, с увеличением площади покрытых лесом земель, произошло увеличение на 4,4 % лесистости республики с 35,5 % в 1993 г. до 39,9 % в 2019 г.

Увеличение площади покрытых лесом земель за 1993–2019 гг. произошло за счет всех трех групп пород. Площадь хвойных насаждений (сосняки, ельники) увеличилась на 3,8 % (на 177,8 тыс. га) за счет насаждений сосны обыкновенной, при этом ее площадь увеличилась на 4,2 % — с 3,9 млн га в 1993 г. до 4,1 млн га в 2019 г. В то же время следует отметить снижение их площади с 2016 г. по 2019 г. — на 0,9 % связанное с различными факторами: биотическими (вредителями, сменой сосны мелколиственными породами), абиотическими (климатическими), антропогенными (интенсивным лесопользованием, радиоактивным загрязнение, лесными пожарами), что привело к снижению биологической устойчивости древостоев, уменьшению их продуктивности, а часто и к их гибели. Площадь еловых лесов за исследуемый период снизилась на 2,05 тыс. га.

В 2015 г. вследствие засушливого лета в сосновых лесах были зафиксированы вспышки численности и распространения стволовых вредителей — вершинного и шестизубчатого короедов, а в еловых — короэда-типографа.

Процесс усыхания сосновых и еловых насаждений продолжился в 2019 г., однако его объем по сравнению с 2018 г. в целом по республике снизился в 1,7 и 1,2 раза соответственно. Общая

площадь сосновых насаждений, в различной степени затронутых усыханием, составила 162,0 тыс. га, еловых — 14,8 тыс. га.

Гибель или утрата биологической устойчивости хвойных насаждений произошла на площади 31,4 тыс. га, а нарушение их биологической устойчивости — на площади 145,4 тыс. га. Общая площадь сосняков Беларуси за период 2009–2019 гг. сократилась на 224,3 тыс. га (5,2 %) [22].

Площадь твердолиственных насаждений увеличилась на 17,3 % (на 58,4 тыс. га) преимущественно за счет дубовых лесов. Площадь мягколиственных насаждений увеличилась на 27,4 % (на 829,0 тыс. га), в том числе насаждений березы, осины, ольхи черной на 596,5, 148,5 и 33,5 тыс. га соответственно.

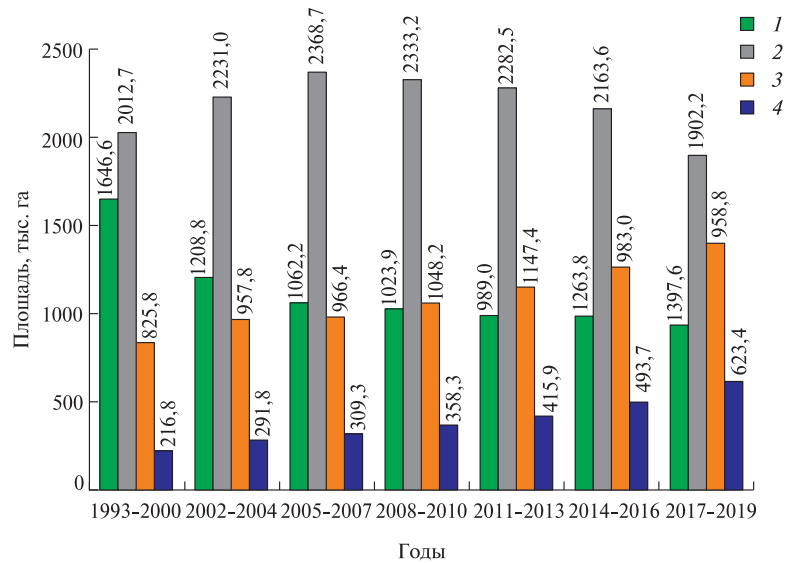
Для установки тренда изменения площади покрытых лесом земель в насаждениях основных лесообразующих пород в разрезе групп возраста был проведен анализ по трехлетиям. Результаты анализа исходных показателей за 1993–2000 гг. по сравнению с 2017–2019 гг. показали, что в хвойных насаждениях отмечается тенденция к снижению площади молодняков в среднем в 1,7 раза (с 1646,6 тыс. га до 958,5 тыс. га), средневозрастных насаждений в 1,1 раза (с 2012,7 тыс. га до 1902,2 тыс. га) и к увеличению приспевающих, спелых и перестойных насаждений в среднем в 1,7 (с 825,8 до 1397,6 тыс. га) и 2,9 (с 216,8 до 623,4 тыс. га) раза соответственно (рис. 5).

В твердолиственных насаждениях отмечается тенденция к снижению площади молодняков в



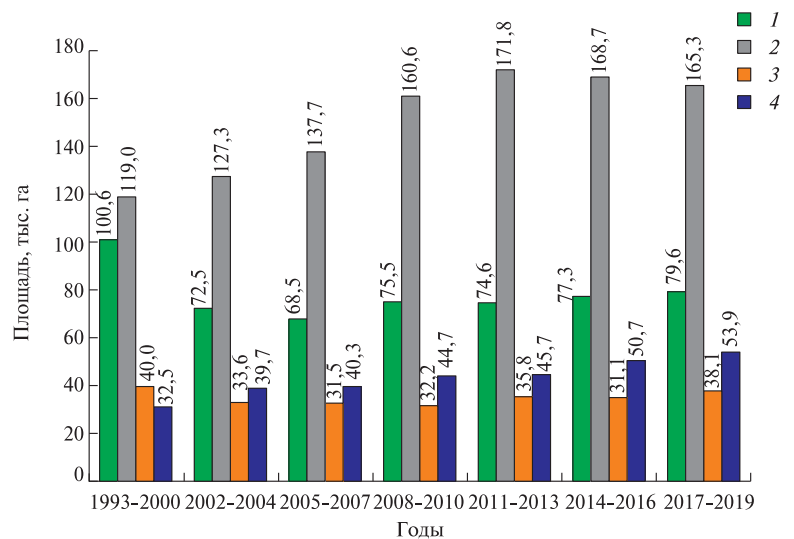
**Рис. 5.** Динамика распределения хвойных насаждений по группам пород за период 1993–2019 гг. по трехлетиям: 1 — молодняки; 2 — средневозрастные; 3 — приспевающие; 4 — спелые и перестойные

**Fig. 5.** Dynamics of the coniferous stands distribution by groups of species for the period 1993–2019 for triennials: 1 — young stock; 2 — middle-aged; 3 — ripening; 4 — mature and overmature



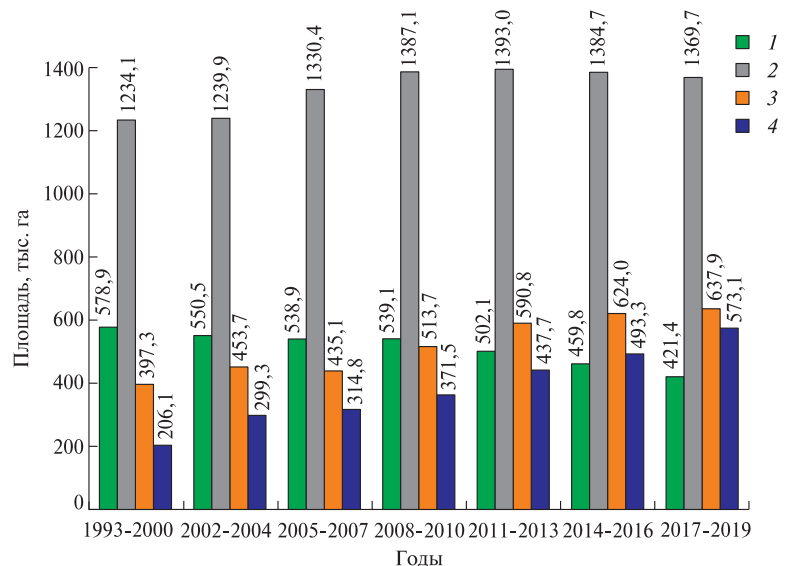
**Рис. 6.** Динамика распределения твердолиственных насаждений по группам пород за период 1993–2019 гг. по трехлетиям: 1 — молодняки; 2 — средневозрастные; 3 — приспевающие; 4 — спелые и перестойные

**Fig. 6.** Dynamics of the hardwood stands distribution by groups of species for the period 1993–2019 for triennials: 1 — young growth; 2 — middle-aged; 3 — ripening; 4 — mature and overmature



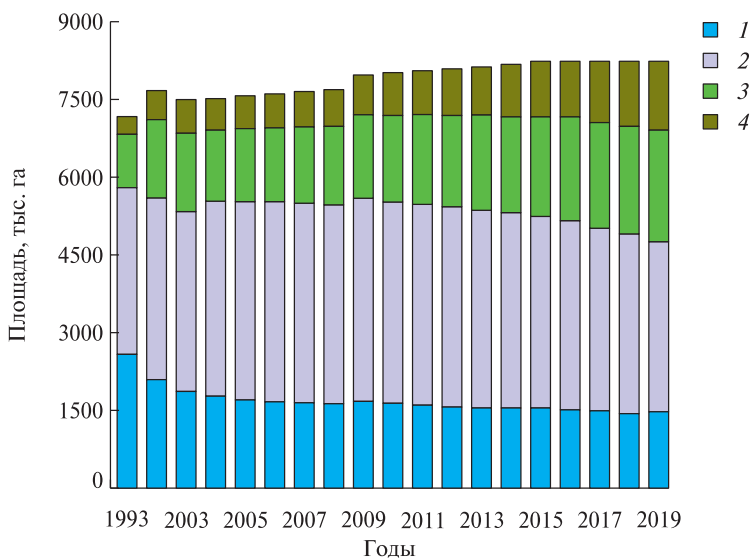
**Рис. 7.** Динамика распределения мягколиственных насаждений по группам пород за период 1993–2019 гг. по трехлетиям: 1 — молодняки; 2 — средневозрастные; 3 — приспевающие; 4 — спелые и перестойные

**Fig. 7.** Dynamics of the soft-wood broadleaved stands distribution by groups of species for the period 1993–2019 for triennials: 1 — young growth; 2 — middle-aged; 3 — ripening; 4 — mature and overmature



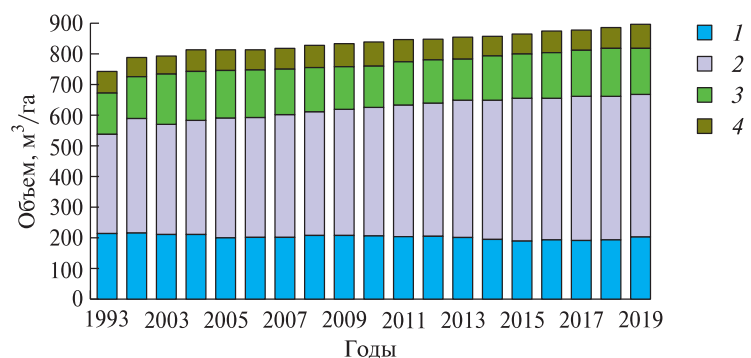
среднем в 1,3 раза (с 100,6 тыс. га до 79,6 тыс. га), приспевающих насаждений в 1,0 раза (с 40,0 тыс. га до 38,1 тыс. га) и увеличению сред-

невозрастных, спелых и перестойных насаждений в среднем в 1,4 раза (с 119,0 до 165,3 тыс. га) и 1,7 раза (с 32,5 до 53,9 тыс. га) (рис. 6).



**Рис. 8.** Динамика распределения насаждений по группам возраста: 1 — молодняки; 2 — средневозрастные; 3 — приспевающие; 4 — спелые и перестойные

**Fig. 8.** Dynamics of the stands distribution by age groups: 1 — young; 2 — middle-aged; 3 — ripening; 4 — mature and overmature



**Рис. 9.** Динамика изменения средних запасов насаждений по группам возраста: 1 — молодняки; 2 — средневозрастные; 3 — приспевающие; 4 — спелые и перестойные

**Fig. 9.** Dynamics of changes in the average stocks of plantations by age groups: 1 — young stands; 2 — middle-aged; 3 — ripening; 4 — mature and overmature

В мягколиственных насаждениях, так же, как и в хвойных и твердолиственных, отмечается тенденция к уменьшению площади молодняков в среднем в 1,4 раза (с 578,9 тыс. га до 421,4 тыс. га) и увеличению средневозрастных, приспевающих спелых и перестойных насаждений в среднем в 1,1 раза (с 1234,1 до 1369,7 тыс. га), 1,6 раза (с 397,3 до 637,9 тыс. га) и 2,8 раза (с 206,1 до 573,1 тыс. га) (рис. 7).

В лесном фонде Республики Беларусь за последние 26 лет доля молодняков в составе лесов уменьшилась на 18,2 % и составила в 2019 г. 17,7 % (рис. 8), уменьшение площади молодняков произошло на 1112,8 тыс. га и в 2019 г. молодняки занимали площадь 1463,1 тыс. га [23].

Уменьшение площади молодняков обусловлено сокращением площади создаваемых лесов на нелесных землях по сравнению с послевоенным периодом, низкой долей формирования молодняков взамен спелых и перестойных насаждений, естественным ростом и переходом насаждений в группу средневозрастных.

Удельный вес средневозрастных насаждений ежегодно уменьшается. По сравнению с 1993 г. он уменьшился на 5,0 % (с 44,9 % до 39,9 %). В то же время площадь средневозрастных насаждений увеличилась на 92,3 тыс. га и соста-

вила 3302,1 тыс. га. Несмотря на уменьшение их долевого участия в течение последних 26 лет, в возрастной структуре лесов они продолжают значительно преобладать по площади.

В отличие от молодняков и средневозрастных насаждений удельный вес приспевающих, а также спелых и перестойных насаждений ежегодно увеличивается. За счет перехода значительной части средневозрастных насаждений в группу приспевающих их доля составила 25,8 %. Площадь приспевающих насаждений с 1993 г. по 2019 г. увеличилась на 1101,8 тыс. га и составила 2136,0 тыс. га. Спелые и перестойные насаждения занимают наименьшую площадь, но за последние 26 лет их удельный вес увеличился с 4,7 % до 16,6 %. За анализируемый период 1993–2019 гг. площадь спелых и перестойных лесов увеличилась на 1029,1 тыс. га и в 2019 г. составила 1379,1 тыс. га.

Таким образом, существующая возрастная структура лесов далека от оптимальной, а по мнению ученых, для республики она должна выглядеть следующим образом: молодняки должны занимать 36 % покрытой лесом площади, средневозрастные — 33, приспевающие — 16 и спелые 15 %.

За последние 26 лет общий запас насаждений увеличился на 739,5 млн м<sup>3</sup> или на 67,7 % и соста-

вил в 2019 г. 1831,8 млн м<sup>3</sup>. Среднее изменение запаса за анализируемый период снизилось на 0,65 м<sup>3</sup>/га и составило 3,95 м<sup>3</sup>/га (в 1993 г. — 3,3 м<sup>3</sup>/га). Произошло увеличение средних запасов всех групп пород: хвойных насаждений — на 84,6 м<sup>3</sup>/га (с 164,1 до 248,7 м<sup>3</sup>/га), твердолиственных — на 43,75 м<sup>3</sup>/га (с 139,6 до 183,3 м<sup>3</sup>/га), мягколиственных — на 56,19 м<sup>3</sup>/га (с 129,5 до 185,7 м<sup>3</sup>/га) (рис. 9).

Анализ показателей среднего запаса насаждений в разрезе групп возраста и типа насаждений показал, что за исследуемый период в хвойных и твердолиственных насаждениях отмечается его снижение на 10,43 м<sup>3</sup>/га (с 97,4 до 87,0 м<sup>3</sup>/га) и 11,9 м<sup>3</sup>/га (с 76,5 до 64,7 м<sup>3</sup>/га) соответственно, а в мягколиственных — увеличение на 13,9 м<sup>3</sup>/га (с 37,6 до 51,6 м<sup>3</sup>/га). В то же время произошло увеличение среднего запаса средневозрастных, припевающихся, спелых и перестойных насаждений в хвойных, твердолиственных и мягколиственных лесных формациях.

Средний запас насаждений на 1 га покрытых лесом земель по состоянию на 01.01.2020 г. составил 221,2 м<sup>3</sup>, молодняков — 67,7 м<sup>3</sup>, средневозрастных — 214,4 м<sup>3</sup>, припевающихся — 258,6 м<sup>3</sup>, спелых и перестойных для основных лесообразующих пород — 273,9 м<sup>3</sup>.

Уменьшение за исследуемый период среднего запаса молодняков обусловлено в основном переходом значительной части насаждений второго класса возраста в категорию средневозрастных. Как следствие, произошло уменьшение среднего возраста молодняков и их среднего запаса на 1 га.

В целом в результате целенаправленной лесохозяйственной деятельности за 26-летний период в Республике Беларусь достигнута положительная динамика лесного фонда, обеспечивающая повышение углерододепонирующей функции лесов.

Лесные экосистемы являются возобновляемыми и одними из самых больших на суше резервуаров углерода. Они имеют важное значение в глобальном углеродном цикле как накопители углерода и источники углеродной эмиссии. Запасы углерода в лесах сосредоточены в наземной и подземной биомассе, мертвых и разлагающихся органических остатках и в почве.

Углеродный баланс не является постоянной величиной, что связано с динамикой лесопокрытой площади, древесных запасов и размерами древесиныпользования.

Расчет общего количества углерода, содержащегося в фитомассе лесов Беларуси, проводится в разрезе лесообразующих древесных видов (преобладающих пород) [6]. Важен вклад каждой лесной формации в депонирование углерода фитомассой (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

### Динамика депонирования углерода фитомассой лесов Беларуси по преобладающим породам

Dynamics of carbon deposition by phytomass of Belarusian forests by prevailing species

Преобладающая порода	Накоплено углерода на начало года, млн т				
	1994	2001	2011	2015	2020
Сосна	232,7	280,9	337,6	363,3	382,1
Ель	55,0	59,2	63,8	66,9	71,3
Дуб	20,0	25,5	28,2	29,6	31,7
Береза	74,3	99,2	125,9	136,2	147,2
Ольха черная	32,4	39,8	50,0	53,9	61,6
Осина	7,1	8,8	10,2	11,0	12,8
Прочие	3,5	7,1	7,2	7,5	7,8
<b>Общий запас углерода в фитомассе насаждений</b>	<b>425,0</b>	<b>520,5</b>	<b>622,9</b>	<b>668,3</b>	<b>714,5</b>

Общее депонирование углерода в фитомассе лесных насаждений с 1993 г. по 2019 г. увеличилось на 289,5 млн т углерода или в 1,7 раза (по лесопокрытой площади увеличение за этот период произошло в 1,1 раза, по запасу — в 1,7 раза). В фитомассе лесов основных лесообразующих пород на начало 2020 г. накоплено 714,5 млн т углерода, наибольшее количество (53,5 %) депонировано сосновыми насаждениями.

Молодняки и средневозрастные насаждения поглощают СО<sub>2</sub> более интенсивно, чем спелые и перестойные леса. Спелые и перестойные леса являются «хранилищем» углерода. В разрезе возрастной структуры белорусских лесов доля накопления углерода в 1993 г. по группам возраста и количеству углерода на 1 га значительно отличается от доли в 2019 г. Так, при занимаемой площади 36,7 % молодняки в 1993 г. накопили 19,6 % углерода, в 2019 г. при доле участия молодняков в лесопокрытой площади 17,7 % ими депонировано 5,9 % углерода. Спелые и перестойные насаждения в 1993 г. накопили углерода 6,9 %, в 2019 г. — доля депонированного углерода составила 20,5 %.

Накопление углерода фитомассой лесов Беларуси на 1 га за исследуемый период увеличилось в 1,5 раза (на 28 т углерода/га) и по состоянию на начало 2020 г. составило 86,3 т углерода/га. Значение выше среднего данный показатель имеет в сосновой, еловой и дубовой формации (рис. 10).

Динамика прироста древесных запасов, как и в целом показателей лесного фонда, способствовала поглощению СО<sub>2</sub> в значительных объемах и накоплению углерода компонентами лесной экосистемы Беларуси (табл. 3).



Рис. 10. Накопление углерода фитомассой лесов Беларуси на 1 га покрытых лесом земель (по состоянию на 01.01.2020 г.)

Fig. 10. Carbon accumulation by phytomass of Belarusian forests per 1 ha of forested land (as of 01.01.2020)

Т а б л и ц а 3

### Динамика накопления углерода лесными насаждениями Беларуси по компонентам лесного насаждения

#### Dynamics of carbon accumulation by forest stands in Belarus by components of forest stands

Компоненты лесного насаждения	Накоплено углерода за год учета, млн т				
	1993	2000	2010	2014	2019
Стволовая древесина	293,4	359,3	430,6	477,8	494,0
Сучья и ветви	54,8	67,5	80,6	89,3	92,4
Хвоя и листья	21,0	25,4	30,1	33,2	34,5
Корни и пни	51,2	62,6	74,8	83,0	85,8
Подрост и подлесок	0,5	0,7	0,8	0,9	0,9
Живой напочвенный покров	4,0	5,0	6,0	6,7	6,9
Валеж и сухостой	2,2	2,7	3,0	3,4	3,6
30см-й слой почвы	794,8	840,6	851,1	919,6	934,5
Лесная подстилка	36,3	43,4	51,2	56,7	57,9
<b>Итого</b>	<b>1258,4</b>	<b>1407,2</b>	<b>1528,2</b>	<b>1670,6</b>	<b>1710,5</b>

Лесоуглеродный пул, включающий углерод, накопленный в подземной и надземной фитомассе, в мертвой древесине, в лесной подстилке и в 30см-м слое почвы по состоянию на 01.01.2020 г. составляет 1710,5 млн т углерода, что эквивалентно 6271,8 млн т CO<sub>2</sub>. Пул углерода лесной — общее содержание углерода в лесной экосистеме (углерод фитомассы лесов, органический углерод 30см-го слоя почвы лесных земель, углерод лесной подстилки и углерод валежной древесины) Республики Беларусь. Основная доля углерода (55,0 %) накоплена в 30-см слое почвы. Надземной биомассой лесов депонировано 36,4 % углерода. Лидирующее положение по накоплению

углерода в надземной биомассе занимает стволовая древесина (63,4 %). Наименьшее количество углерода (0,2 %) накоплено мертвой древесиной (валеж + сухостой), что объясняется периодической уборкой захламленности сухостойной и валежной древесины в белорусских лесах. В наиболее активную форму биокруговорота вовлечено 1087,6 млн т углерода (3987,9 млн т CO<sub>2</sub>) или 63,6 % общего депонированного углерода.

Количество углерода на 1 га лесопокрытой площади с 1993 г. увеличилось на 35,9 т углерода на 1 га (в 1,2 раза) и в 2019 г. составило 206,6 т углерода на 1 га.

Среднее годовое депонирование углерода лесами Республики Беларусь за 1993–2019 гг. составило 17,4 млн т углерода в год. Заметна устойчивая со знаком «+» тенденция депонирования, т. е. имеет место поглощение (сток, абсорбция) атмосферного углерода лесами. За анализируемый период среднепериодическое годовое депонирование изменялось в пределах от +12,1 млн т углерода в год (в период 2001–2011 гг.) до +21,3 млн т углерода в год (в период 1993–2000 гг.).

Прирост депонированного углерода в лесной экосистеме Беларуси за последние 26 лет составил как минимум 452,1 млн т углерода: 312,4 млн т углерода — прирост углерода в лесных насаждениях и 139,7 млн т углерода — прирост органического углерода в почвах лесных земель.

Можно сказать, что лесами Беларуси за 1993–2019 гг. «изъято» из атмосферы, депонировано в древесине и других компонентах лесной экосистемы более 1,7 млрд т углерода. Приведенные к единице площади показатели углерододепонирующей продуктивности белорусских лесов значительно превышают аналогичные показатели для европейских лесов (табл. 4) [24].

Ежегодное изменение накопления углерода лесными насаждениями Беларуси на 1 га в 1,5 раза превышает аналогичный показатель по лесам Европы. Динамика накопления углерода на площади 1 га лесными насаждениями Беларуси устойчиво положительная с приростом этого показателя в 1,25 т углерода на 1 га в год. По европейским лесам на фоне положительной составляющей общего углерододепонирования данный показатель значительно ниже и составляет 0,48 т углерода на 1 га в год [25].

Истекший период (1993–2019 гг.) отличался масштабным лесоразведением, преобладанием молодняков и средневозрастных насаждений с относительно невысокими средними запасами насаждений, но значительным потенциалом для прироста их запаса и, соответственно для депонирования органического углерода. Это способствовало увеличению накопления углерода на лесопокрытых землях лесного фонда за 1993–2019 гг.



Тенденции накопления углерода лесами Беларуси и Европы  
Trends in carbon storage by forests in Belarus and Europe

Показатель	Беларусь*				Европа (без учета РФ и РБ)			
	1993	2000	2010	2019	1990	2000	2005	2010
Общее накопление (млн т углерода)	729	847	961	1088	29827	32174	33046	34108
Накопление одним гектаром (т углерода на 1 га)	98,8	107,9	119,4	131,3	172,0	177,7	197,1	181,5
Общее ежегодное изменение, общий прирост (млн т углерода в год)	–	16,9	11,4	14,1	–	234,7	174,4	212,4
Ежегодное изменение, прирост на один гектар лесопокрытой площади (т углерода на 1 га·в год)	–	2,15	1,42	1,70	–	1,30	0,95	1,13

\*Приведены данные по углероду, вовлеченному в активный биокруговорот (лесное насаждение + органический углерод в 10см-м слое почвы).

ориентировочно, на 0,45 млрд т с приростом 1,38 т углерода на 1 га в год в среднем, в том числе 1,25 т углерода на 1 га в год — прирост углерода, вовлеченного в активный биокруговорот (лесное насаждение + органический углерод в 10см-м слое почвы).

Леса подвержены различным разрушающим воздействиям: рубкам, лесным пожарам, ветровалам, а также техногенезу [26, 27], что приводит к их гибели либо к деградации, к потерям запасов углерода и эмиссиям CO<sub>2</sub> в атмосферу. В Беларуси в 2015 г. эмиссии CO<sub>2</sub> в атмосферу от лесных пожаров составили 253,9 тыс. т, в 2016 г. — 3,5 тыс. т, в 2019 г. — 128,5 тыс. т. При проведении сплошных рубок главного пользования выбросы CO<sub>2</sub> в атмосферу составили: 2015 г. — 12,2 млн т; 2016 г. — 9,8 млн т; в 2018 г. — 10,5 млн т.

Обеспечить положительную динамику накопления углерода лесами можно только с помощью планирования и проведения целевых лесохозяйственных мероприятий, направленных на повышение продуктивности лесов.

Беларусь — лесная страна, обладающая значительным потенциалом, чтобы оказать существенное воздействие на величину и направление потоков углерода в глобальном углеродном круговороте.

## Выводы

1. За последние 26 лет в лесном фонде Республики Беларусь произошли положительные изменения качественных и количественных показателей, характеризующих состояние лесного фонда. Площадь покрытых лесом земель в республике увеличилась, при этом сохранилась тенденция к увеличению количества приспевающих, спелых и перестойных лесов при снижении удельного веса молодняков. Лесистость территории республики достигла 39,9 % (увеличилась на 4,3 %).

2. В результате естественного роста древостоев произошло увеличение общих древесных запасов

на 739,5 млн м<sup>3</sup>. Увеличение запасов отмечено по всем группам пород. В целом удельный вес спелых и перестойных древостоев в общем объеме древесных запасов республики за отчетный год увеличился с 6,8 до 20,5 %. Продолжается накопление запасов спелых и перестойных древостоев по отдельным мягколиственным породам (березе, осине).

3. Лесоуглеродный пул увеличился на 452,1 млн т и на начало 2020 г. составил 1710,5 млн т, что эквивалентно 6271,8 млн т CO<sub>2</sub>. Среднее годовичное депонирование углерода лесами Республики Беларусь за 1993–2019 гг. составило 17,4 млн т углерода в год.

4. Результаты лесохозяйственной деятельности и анализ динамики лесоуглеродных пулов свидетельствует о тенденции превышения абсорбции CO<sub>2</sub> над его эмиссией при управлении лесами на условиях устойчивого лесопользования и применения экологически ориентированных и экономически эффективных методов хозяйствования в области выращивания, охраны и защиты лесов.

## Список литературы

- [1] Исаев А.С., Коровин Г.Н., Сухих В.И., Титов С.П., Уткин А.И., Голуб А.А., Замолотчиков Д.Г., Пряжников А.А. Экологические проблемы поглощения углекислого газа посредством лесовосстановления и лесоразведения в России. М.: Центр экологической политики России, 1995. 156 с.
- [2] Сунгурова Н.Р., Худяков В.В., Страздаускас С.Е. Сравнительная структура углеродного пула в надземной фитомассе культур сосны и ели // ИВУЗ Лесной журнал, 2019. № 3 (369). С. 159–165.
- [3] Стерлигова Ю.М. Обзор деятельности международных банков развития в странах СНГ в I полугодии 2012 года // Информационно-аналитические материалы Евразийской Экономической Интеграции, 2012. № 3 (16). С. 101–138.
- [4] Составление углеродного баланса лесов Республики Беларусь на основании значений коэффициентов выбросов/поглощения диоксида углерода от надземной фитомассы, подготовка прогноза увеличения поглощения выбросов парниковых газов лесами до 2030 и до 2050 годов,

- подготовка перечня мероприятий по увеличению поглощения парниковых газов в лесном хозяйстве, 2017. URL: <http://minpriroda.gov.by/uploads/files/Pogloschenie-parnikovyx-gazov.pdf>. (дата обращения 25.02.2019).
- [5] Парижское климатическое соглашение, 2020. URL: <http://https://minpriroda.gov.by/ru/paris-ru/> (дата обращения 29.07.2020).
- [6] Наквасина Е.Н., Шумилова Ю.Н. Динамика запасов углерода при формировании лесов на постагрогенных землях // ИВУЗ Лесной журнал. 2021. № 1. С. 46–59. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-1-46-59.
- [7] Рожков Л.Н., Кузьменков М.В., Красовский В.Л., Абрамович М.Ю. Методика оценки общего и годовичного депонирования углерода лесами Республики Беларусь. Минск: Белорусский государственный технологический университет; ЛРУП «Белгослес», 2011. 19 с.
- [8] Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК, 2006. URL: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/russian/index.html> (дата обращения 29.07.2020).
- [9] Рожков Л.Н., Войтов И.В., Кулик А.А., Багинский В.Ф., Навойчик Л.Л. Лесоуглеродный ресурс Беларуси. Минск: Белорусский государственный технологический университет, 2018. 12 с.
- [10] Annual European Union greenhouse gas inventory 1990–2018 and inventory report 2020. Submission to the UNFCCC Secretariat. European Environment Agency, 2020, 997 p.
- [11] Национальный доклад Российской Федерации о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом за 1990–2018 гг. Ч. 1. Москва, 2020. 480 с. URL: [www.igcc.ru/2020/04/национальный-кадастр-антропогенных/](http://www.igcc.ru/2020/04/национальный-кадастр-антропогенных/) (дата обращения 29.07.2020).
- [12] Национальный доклад Республики Казахстан о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом за 1990–2018 гг. Нур-Султан, 2020. 440 с.
- [13] Kull S.J., Kurz W.A., Rampley G.J., Banfield G.E., Schivatcheva R.K., Apps M.J. Операционная модель учета углерода Канадского лесного сектора CBM-CFS3 версия 1.0: Руководство пользователя. Northern Forestry Centre, 2010. 112 с.
- [14] Heath L., Nichols M., Smith J., Mills J. FORCARB2: An Updated version of U.S. Forest Carbon Budget Model // USDA Forest Service: Northern Research Station, 2010, 52 p.
- [15] Komarov A.S., Chertov O.G., Zudin S.L. EFIMOD2 — a model of growth and cycling of elements in boreal forest ecosystems // Ecological Modelling, 2003, v. 170, no. 2–3, pp. 373–392.
- [16] Доклад Конференции Сторон о работе ее девятнадцатой сессии, состоявшейся в Варшаве с 11 по 23 ноября 2013 года, 2020. URL: <https://unfccc.int/resource/docs/2013/cor19/rus/10a03r.pdf> (дата обращения 29.07.2020).
- [17] Руководящие указания по эффективной практике для землепользования, изменений в землепользовании и лесного хозяйства. Программа Межправительственной группы экспертов по изменению климата по национальным кадастрам парниковых газов. М.: МГЭИК, 2003. 330 с.
- [18] Filipchuk A., Moiseev B., Malysheva N., Strakhov V. Russian forests: a new approach to the assessment of carbon stocks and sequestration capacity // Environmental Development, 2018. Т. 26. С. 68–75.
- [19] Конькова В.М., Наркевич И.П. Оценка выбросов парниковых газов в землепользовании и лесном хозяйстве в Республике Беларусь // Природопользование, 2018. № 2. С. 46–55.
- [20] Лесной кодекс Республики Беларусь от 24.12.2015 г. № 332-3. URL: [http://continent-online.com/Document/?doc\\_id=31915812](http://continent-online.com/Document/?doc_id=31915812) (дата обращения 29.07.2020).
- [21] Государственный лесной кадастр Республики Беларусь по состоянию на 01.01.2020. Минск: Минлесхоз, ЛРУП «Белгослес», 2020. 65 с.
- [22] Сазонов А.А. Усыхание сосновых древостоев Беларуси (2010 – ???): работа над ошибками // Лесные экосистемы: современные вызовы, состояние, продуктивность и устойчивость: Материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 90-летию Института леса НАН Беларуси, Гомель, 13–15 ноября 2020 г. / под ред. А.И. Ковалевич. Гомель: Институт леса НАН Беларуси, 2020. С. 279–283.
- [23] Национальный статистический комитет Республики Беларусь. Интерактивная информационно-аналитическая система распространения официальной статистической информации, 2020. URL: <http://dataportal.belstat.gov.by/Indicators/Preview?key=144095> (дата обращения 29.07.2020).
- [24] Филипчук А.Н., Моисеев Б.Н., Малышева Н.В. Новые аспекты оценки поглощения парниковых газов лесами России в контексте Парижского соглашения об изменении климата // Лесохозяйственная информация, 2017. № 1. С. 89–97.
- [25] Глобальная оценка лесных ресурсов 2010 года. Основной отчет. Документ Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН по лесному хозяйству. Рим: Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН, 2011. Т. XXXI. 344 с.
- [26] Zavyalov K., Menshikov S., Mohnachev P., Kuzmina N., Potapenko A., Ayan S. Response of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), Sukachyov's Larch (*Larix sukaczewii* dylis), and silver Birch (*Betula pendula* roth) to magnesite dust in Satkinsky industrial hub // Forestry Ideas, 2018, t. 24, no. 1, pp. 23–36.
- [27] Устинов С.М., Ланцева В.А. Аспекты роста сосняков под воздействием выбросов цементного производства // Леса Евразии — Леса Поволжья: Матер. XVII Междунар. конф., посвящ. 150-летию со дня рождения проф. Г.Ф. Морозова, 95-летию Казанского аграрного университета и Году экологии в России, Казань, 22–28 октября 2017 г. М.: Издательско-полиграфический центр «Маска», 2017. с. 235–237.

## Сведения об авторах

**Потапенко Антон Михайлович** — канд. с.-х. наук, зав. лабораторией, ГНУ «Институт леса Национальной академии наук Беларуси», [formelior@tut.by](mailto:formelior@tut.by)

**Толкачева Наталья Васильевна** — канд. с.-х. наук, ст. науч. сотр. лаборатории, ГНУ «Институт леса Национальной академии наук Беларуси», [formelior@tut.by](mailto:formelior@tut.by);

**Бутьковец Владимир Васильевич** — науч. сотр. лаборатории, ГНУ «Институт леса Национальной академии наук Беларуси», [formelior@tut.by](mailto:formelior@tut.by);

**Шатравко Алеся Валентиновна** — лесничий Плещеницкого лесничества ГЛХУ «Логойский лесхоз», [shatravko\\_alesya@mail.ru](mailto:shatravko_alesya@mail.ru);

**Мохначев Павел Евгеньевич** — канд. биол. наук, науч. сотр. ФГБУН «Ботанический сад Уральского отделения РАН», [mohnachev74@mail.ru](mailto:mohnachev74@mail.ru)

Поступила в редакцию 30.04.2021.

Принята к публикации 18.05.2021.

# STATE FOREST REGISTER AS BASIS OF GREENHOUSE GAS INVENTORY FOR LAND USE, LAND USE CHANGE AND FORESTRY SECTOR

A.M. Potapenko<sup>1</sup>, N.V. Tolkacheva<sup>1</sup>, V.V. But'kovets<sup>1</sup>  
A.V. Shatravko<sup>2</sup>, P.E. Mokhnachev<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Institute of Forest of the National Academy of Sciences of Belarus, 71, Proletarskaya st., 246001, Gomel, Republic of Belarus

<sup>2</sup>Logoisk forestry, 2, Lesnaya st., 223141, Logoisk, Republic of Belarus

<sup>3</sup>Botanical Garden Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 202a, 8 Marta st., 620134, Yekaterinburg, Russia

formelior@tut.by

The data on the assessment of the dynamics of forested lands of the Republic of Belarus are presented. The characteristics of the forest fund for the period 1994–2019 are presented. Based on the materials of the provisions of international treaties, documents adopted within the framework of the implementation of the UN Framework Convention on Climate Change at the international and national levels, including the Paris Agreement, the provisions of regulatory legal acts of the Republic of Belarus, the results of scientific research, information from the Ministry of Forestry, according to the data of the State Forest Cadastre, an assessment of greenhouse gases in the forest fund of the Republic of Belarus was carried out. CO<sub>2</sub> emissions and sinks from forestry have been calculated in accordance with the IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories using the stock-difference method. It was found that as a result of purposeful work on reforestation and afforestation over a 26-year period, a positive dynamics of the forest fund was achieved in the Republic of Belarus: the forested area increased by 919,6 thousand ha from 7360,7 thousand ha to 8280,3 thousand ha; the forest cover of the territory of the republic increased by 4,3 % and reached 39,9 %; the total standing timber stock increased by 739,5 million m<sup>3</sup> from 1092,3 to 1831,8 million m<sup>3</sup> (including in mature and over-mature stands — by 300,3 million m<sup>3</sup> and amounted to 348,8 million m<sup>3</sup>); the reserve per hectare of forested land increased by 72,8 m<sup>3</sup> and amounted to 221,2 m<sup>3</sup>/ha; the stock of mature and over-mature stands increased by an average of 52,6 m<sup>3</sup> and reached 273,9 m<sup>3</sup>/ha.

**Keywords:** greenhouse gases, absorption, emissions, forestry, biomass, inventory, state forest cadaster

**Suggested citation:** Potapenko A.M., Tolkacheva N.V., But'kovets V.V., Shatravko A.V., Mokhnachev P.E. *Gosudarstvennyy lesnoy kadastr kak osnova inventarizatsii parnikovyykh gazov dlya kategorii «Lesnye zemli»* [State forest register as basis of greenhouse gas inventory for land use, land use change and forestry sector]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 5, pp. 37–50. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-5-37-50

## References

- [1] Isaev A.S., Korovin G.N., Sukhikh V.I., Titov S.P., Utkin A.I., Golub A.A., Zamolodchikov D.G., Pryazhnikov A.A. *Ekologicheskie problemy pogloshcheniya uglekislogo gaza posredstvom lesovosstanovleniya i lesorazvedeniya v Rossii* [Environmental problems of carbon dioxide absorption through reforestation and afforestation in Russia]. Moscow: Tsentr ekologicheskoy politiki Rossii [Center for Environmental Policy of Russia], 1995, 156 p.
- [2] Sungurova N.R., Khudyakov V.V., Strazdauskas S.E. *Sravnitel'naya struktura uglerodnogo pula v nadzemnoy fitomasse kul'tur sosny i eli* [Comparative structure of the carbon pool in the aboveground phytomass of pine and spruce crops]. *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2019, no. 3 (369), pp. 159–165.
- [3] Sterligova Yu.M. *Obzor deyatel'nosti mezhdunarodnykh bankov razvitiya v stranakh SNG v I polugodii 2012 goda* [Review of the activities of international development banks in the CIS countries in the first half of 2012]. *Informatsionno-analiticheskie materialy EEI* [Information and analytical materials of the EEI], 2012, no. 3 (16), pp. 101–138.
- [4] *Sostavlenie uglerodnogo balansa lesov Respubliki Belarus' na osnovanii znacheniy koeffitsientov vybrosov/pogloshcheniya dioksida ugleroda ot nadzemnoy fitomassy, podgotovka prognoza uvelicheniya pogloshcheniya vybrosov parnikovyykh gazov lesami do 2030 i do 2050 godov, podgotovka perechnya meropriyatiy po uvelicheniyu pogloshcheniya parnikovyykh gazov v lesnom khozyaystve* [Compilation of the carbon balance of forests in the Republic of Belarus based on the values of the emission / absorption factors of carbon dioxide from the aboveground phytomass, preparation of a forecast for the increase in absorption of greenhouse gas emissions by forests until 2030 and until 2050, preparation of a list of measures to increase the absorption of greenhouse gases in forestry], 2017. Available at: <http://minpriroda.gov.by/uploads/files/Pogloschenie-parnikovyykh-gazov.pdf> (accessed 25.02.2019).
- [5] *Parizhskoe klimaticheskoe soglasenie* [Paris Climate Agreement], 2020. Available at: <http://https://minpriroda.gov.by/ru/paris-ru/> (accessed 29.07.2020).
- [6] Nakvasina E.N., Shumilova Yu.N. *Dinamika zapasov ugleroda pri formirovaniy lesov na postagrogennykh zemlyakh* [Dynamics of carbon stocks during the formation of forests on post-agrogenic lands]. *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2021, no. 1, pp. 46–59. DOI: 10.37482 / 0536-1036-2021-1-46-59.
- [7] Rozhkov L.N., Kuz'menkov M.V., Krasovskiy V.L., Abramovich M.Yu. *Metodika otsenki obshchego i godichnogo deponirovaniya ugleroda lesami Respubliki Belarus'* [Methodology for assessing total and annual carbon deposition by forests of the Republic of Belarus]. Minsk: BSTU; LRUP «Belgosles», 2011, 19 p.
- [8] *Rukovodnyashchie printsipy natsional'nykh inventarizatsiy parnikovyykh gazov MGEIK* [IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories], 2006. Available at: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/russian/index.html> (accessed 29.07.2020).
- [9] Rozhkov L.N., Voytov I.V., Kulik A.A., Baginskiy V.F., Navoychik L.L. *Lesouglerodnyy resurs Belarusi* [Forest carbon resource of Belarus]. Minsk: BSTU, 2018, p. 12.
- [10] Annual European Union greenhouse gas inventory 1990–2018 and inventory report 2020. Submission to the UNFCCC Secretariat. European Environment Agency, 2020, 997 p.



- [11] *Natsional'nyy doklad Rossiyskoy Federatsii o kadastre antropogennykh vybrosov iz istochnikov i absorbtitsii poglotitelyami parnikovyykh gazov, ne reguliruemyykh Monreal'skim protokolom za 1990–2018 gg. Ch.1.* [National report of the Russian Federation on the inventory of anthropogenic emissions by sources and removals by sinks of greenhouse gases not regulated by the Montreal Protocol for 1990–2018. Part 1]. Moscow, 2020, 480 p. Available at: [www.igce.ru/2020/04/national-anthropogenic-cadastre/](http://www.igce.ru/2020/04/national-anthropogenic-cadastre/) (accessed 29.07.2020).
- [12] *Natsional'nyy doklad Respubliki Kazakhstan o kadastre antropogennykh vybrosov iz istochnikov i absorbtitsii poglotitelyami parnikovyykh gazov, ne reguliruemyykh Monreal'skim protokolom za 1990–2018 gg.* [National report of the Republic of Kazakhstan on the inventory of anthropogenic emissions by sources and removals by sinks of greenhouse gases not regulated by the Montreal Protocol for 1990–2018]. Nur-Sultan, 2020, 440 p.
- [13] Kull S.J., Kurz W.A., Rampley G.J., Banfield G.E., Schivatcheva R.K., Apps M.J. *Operatsionnaya model' ucheta ugleroda Kanadskogo lesnogo sektora CBM-CFS3 versiya 1.0: Rukovodstvo pol'zovatelya* [Canadian Forestry Carbon Accounting Operating Model CBM-CFS3 Version 1.0: User's Guide]. Northern Forestry Center, 2010, 112 p.
- [14] Heath L., Nichols M., Smith J., Mills J. FORCARB2: An Updated version of U.S. Forest Carbon Budget Model. USDA Forest Service: Northern Research Station, 2010, 52 p.
- [15] Komarov A.S., Chertov O.G., Zudin S.L. EFIMOD2 – a model of growth and cycling of elements in boreal forest ecosystems. *Ecological Modelling*, 2003, v. 170, no. 2–3, pp. 373–392.
- [16] *Doklad Konferentsii Storon o rabote ee devyatnadsyatoy sessii, sostoyavsheysya v Varshave s 11 po 23 noyabrya 2013 goda* [Report of the Conference of the Parties on its nineteenth session, held in Warsaw from 11 to 23 November 2013], 2020. Available at: <https://unfccc.int/resource/docs/2013/cop19/rus/10a03r.pdf> (accessed 29.07.2020).
- [17] *Rukovodnyashchie ukazaniya po effektivnoy praktike dlya zemlepol'zovaniya, izmeneniy v zemlepol'zovanii i lesnogo khozyaystva. Programma MGEIK po natsional'nyim kadastram parnikovyykh gazov* [Guidance on good practice for land use, land-use change and forestry. IPCC National Greenhouse Gas Inventories Program]. Moscow: IPCC, WMO, 2003, 330 p.
- [19] Kon'kova V.M., Narkevich I.P. *Otsenka vybrosov parnikovyykh gazov v zemlepol'zovanii i lesnom khozyaystve v Respublike Belarus'* [Assessment of greenhouse gas emissions in land use and forestry in the Republic of Belarus]. *Prirodopol'zovanie [Nature management]*, 2018, no. 2, pp. 46–55.
- [20] *Lesnoy kodeks Respubliki Belarus' ot 24.12.2015 g. № 332-3* [Forest Code of the Republic of Belarus dated 24.12.2015 No. 332-3]. Available at: [http://continent-online.com/Document/?doc\\_id=31915812](http://continent-online.com/Document/?doc_id=31915812) (accessed 29.07.2020).
- [21] *Gosudarstvennyy lesnoy kadastr Respubliki Belarus' po sostoyaniyu na 01.01.2020* [State Forest Cadastre of the Republic of Belarus as of 01.01.2020]. Minsk: Ministry of Forestry, Forest Inventory Republican Unitary Enterprise «Belgoses», 2020, 65 p.
- [22] Sazonov A.A. *Usykhaniye sosnovyykh drevostoev Belarusi (2010–????): rabota nad oshibkami* [Drying of pine stands in Belarus (2010–????): work on mistakes]. *Lesnye ekosistemy: sovremennyye vyzovy, sostoyaniye, produktivnost' i ustoychivost': Materialy mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashch. 90-letiyu Instituta lesa NAN Belarusi, Gomel'* [Forest ecosystems: modern challenges, state, productivity and sustainability: Proceedings of the Intern. scientific-practical conf., dedicated. to the 90th anniversary of the Institute of Forestry of the National Academy of Sciences of Belarus], Gomel, November 13–15, 2020. Ed. A.I. Kovalevich. Gomel: Institut lesa NAN Belarusi [Forest Institute of the National Academy of Sciences of Belarus], 2020, pp. 279–283.
- [23] *Natsional'nyy statisticheskiy komitet Respubliki Belarus'. Interaktivnaya informatsionno-analiticheskaya sistema rasprostraneniya ofitsial'noy statisticheskoy informatsii* [National Statistical Committee of the Republic of Belarus. An interactive informational and analytical system for the dissemination of official statistical information], 2020. Available at: <http://dataportal.belstat.gov.by/Indicators/Preview?key=144095> (accessed 29.07.2020).
- [24] Filipchuk A.N., Moiseev B.N., Malysheva N.V. *Novyye aspekty otsenki pogloshcheniya parnikovyykh gazov lesami Rossii v kontekste parizhskogo soglasheniya ob izmenenii klimata* [New aspects of assessing the absorption of greenhouse gases by Russian forests in the context of the Paris agreement on climate change]. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya* [Forestry information], 2017, no. 1, pp. 89–97.
- [25] *Global'naya otsenka lesnykh resursov 2010 goda. Osnovnoy otchet. Dokument FAO po lesnomu khozyaystvu* [Global Forest Resources Assessment 2010. Main report. FAO Forestry Paper]. Rome: Food and agricultural org. UN, 2011, t. XXXI, 344 p.
- [27] Ustinov S.M., Lantseva V.A. *Aspekty rosta sosnyakov pod vozdeystviem vybrosov tsementnogo proizvodstva* [Aspects of pine forest growth under the influence of emissions from cement production]. *Lesa Evrazii — Lesa Povolzh'ya: mater. XVII mezhdunar. konf., posvyashch. 150-letiyu so dnya rozhdeniya prof. G.F. Morozova, 95-letiyu Kazanskogo agrarnogo universiteta i Godu ekologii v Rossii* [Forests of Eurasia — Forests of the Volga region: mater. XVII int. conf., dedicated. 150th anniversary of the birth of prof. G.F. Morozov, the 95th anniversary of the Kazan Agrarian University and the Year of Ecology in Russia], Kazan, October 22–28, 2017. Moscow: OOO IPC Mask, 2017, pp. 235–237.

## Authors' information

**Potapenko Anton Mikhaylovich** — Cand. Sci. (Agriculture), Laboratory Manager, Institute of Forest of the National Academy of Sciences of Belarus, [formelior@tut.by](mailto:formelior@tut.by)

**Tolkacheva Natal'ya Vasil'evna** — Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher of the Laboratory of the Institute of Forest of the National Academy of Sciences of Belarus, [formelior@tut.by](mailto:formelior@tut.by)

**But'kovets Vladimir Vasil'evich** — Researcher of the Institute of Forest of the National Academy of Sciences of Belarus, [formelior@tut.by](mailto:formelior@tut.by)

**Shatravko Alesya Valentinovna** — Forester of the Pleshchenitsky forestry Logoisk forestry, [shatravko\\_alesya@mail.ru](mailto:shatravko_alesya@mail.ru)

**Mokhnachev Pavel Evgen'evich** — Cand. Sci. (Biology), Researcher of the Botanical Garden Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, [mokhnachev74@mail.ru](mailto:mokhnachev74@mail.ru)

Received 30.04.2021.

Accepted for publication 18.05.2021.



УДК 630\*432

DOI: 10.18698/2542-1468-2021-5-51-55

## МЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ ЛЮДЕЙ, НАХОДЯЩИХСЯ В ЛЕСУ, ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ ПОЖАРА

Л.Н. Бердникова

Красноярский государственный аграрный университет (Красноярский ГАУ), 660049, г. Красноярск, пр. Мира, д. 90

Vlaga26@mail.ru

Проведен анализ разновидностей лесных пожаров и мер безопасности людей, находящихся в лесу, при их возникновении. Исходя из объекта и специфики лесного пожара, в частности характера растительности или почв, разработаны соответствующие способы спасения, дана оценка признакам скрытых опасных факторов пожара. Единственный шанс на спасение – это правильные и четкие действия, которым должен быть обучен каждый человек.

**Ключевые слова:** лесной пожар, население, лес, огонь, безопасность, спасение, стихийное бедствие, безопасная зона

**Ссылка для цитирования:** Бердникова Л.Н. Меры безопасности для людей, находящихся в лесу, при возникновении пожара // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 5. С. 51–55.

DOI: 10.18698/2542-1468-2021-5-51-55

Любой природный пожар — это опасное стихийное бедствие, приводящее к гибели сам лес, животных, для которых лес является средой обитания и близлежащие населенные пункты. Пожары, возникающие в лесу, подразделяются на верховые, низовые и подземные (торфяные). Наиболее часто возгорания проходят в виде низового пожара (90 %). При этом горит валежник, трава, включая сухостой, нижние части деревьев и корни, выступающие на поверхность земли [1–5].

### Цель работы

Цель работы — обучить людей, находящихся в лесу, действиям по предупреждению и предотвращению пожара, распознаванию видов пожаров и мероприятиям по спасению при их возникновении.

В целях защиты лесов от пожаров местные органы власти большинства регионов вводят запреты на посещение людьми леса. Однако такие запреты, в действительности, наоборот, часто приводят к увеличению риска пожарной опасности и нанесению ущерба, не только природе, но и гражданскому населению [6, 7]. Запрет на посещения леса, особенно на долгосрочный период нарушает исторически сложившиеся привычки граждан на рекреационное использование окружающей среды, свободный досуг и бескорыстное пребывание в пределах лесных территорий, сбор ягод и грибов для собственных нужд и в целом их законные права [8, 9].

### Объекты и методы исследований

Объектами исследований по данной теме послужили виды природных пожаров, методами — рассмотрение способов самостоятельного спасения людей в сложившейся экстремальной обстановке. При определении вида природного

пожара важно знать отличительную характеристику того или иного возгорания в лесу и характерные особенности распространения огня в пространстве в целях координации действий людей, нахождения правильного способа выживания в этих условиях и перемещения в безопасную зону. Следует использовать как общепринятые правила подхода к выявлению и обнаружению мест пожара, так и учитывать ряд таких дополнительных особенностей, как особенности местности, на которой произошло возгорание, направление, силу ветра и скорость распространения огня [11].

Исходя из объекта и специфики лесного пожара, в частности характера растительности или почв, разработаны соответствующие способы спасения, дана оценка признакам скрытых опасных факторов пожара, собрана необходимая информация для быстрого перемещения людей и животных в безопасную зону. Обширность распространения площади горения создает большие трудности для самостоятельного выхода в безопасное место.

### Результаты исследований

Неподконтрольные лесные пожары представляют собой огромное бедствие. Даже при высоком уровне организации системы охраны лесов и достаточных финансовых ресурсах не всегда можно в полном объеме обеспечить 100%-ю охрану лесов от пожаров [12].

В лесу крайне необходимо с точностью соблюдать все правила пожарной безопасности, особенно в наиболее пожароопасное время года независимо от типа местности. При этом следует подчеркнуть, что человеческий фактор является причиной 88–98 % случаев природных пожаров и только примерно 2–12 % приходится на долю метеорологических причин [13].

Для снижения вероятности возникновения природных пожаров своевременно должна проводиться их профилактика, и прежде всего для леса, поскольку возгорания в большинстве случаев зависят от состояния лесной подстилки.

Максимум лесных пожаров приурочен к периоду окончания весны и началу лета. В это время на земной поверхности особенно в теплые и сухие дни, когда прошлогодние трава и опавшие листья характеризуется повышенной способностью к возгоранию. При этом следует соблюдать повышенную осторожность при разведении костров и в целом при обращении с огнем [14, 15]. Наиболее опасными в этом отношении считаются старые гари, кроны нависающих деревьев, особенно хвойных молодняков, лесосеки с заготовленной древесиной и оставленными порубочными остатками, торфяники, участки поврежденного ветром леса, места с пересохшей травой.

Место, выбранное под костер, следует особенно тщательно очистить от лесной подстилки, по возможности снять дерн, обложить камнями или снятым дерном [16]. На торфяниках и вблизи них во избежание возгорания торфа перед разведением костра насыпают «подушку» из земли и песка. При сильном ветре с наветренной стороны рекомендуется защитить огонь временно сооруженной стенкой из камней или веток, вбитых в землю и укрытых пластом дерна. Запрещается оставлять костер без присмотра и покидать место привала, полностью не потушив костер.

Для курящих посетителей леса также предусмотрены меры пожарной безопасности, которые необходимо строго соблюдать. Курить разрешается только на привале, при необходимости сделав специальную кратковременную остановку. Запрещается бросать в лесу горящие окурки и спички. Для этого сначала следует погасить окурки о влажную почву, раздвинув верхний слой лесной подстилки. Покинуть место курения можно только после того, как окончательно погаснет окурки [17].

При возникновении или обнаружении природного пожара прежде всего следует тщательно и без паники проанализировать обстановку и определить пути эвакуации. Допускаются попытки самостоятельно остановить пламя, предварительно оценив свои возможности [18]. Огонь можно захлестывать, сбивая пламя, сложенным невысоким деревцем, веником из ветвей или иными подручными предметами, приемлемыми для данной ситуации. Действовать необходимо «сметая» в сторону очага пожара языки пламени и затаптывать ногами тлеющую растительность. Можно забросать землей кромку пожара, если есть лопата или вокруг кромки рыхлая почва и принять меры по извещению о пожаре, позвонив

в пожарную охрану из ближайшего населенного пункта для передачи сообщения о пожаре в пожарную часть или лесничество.

Скорость распространения в пространстве низового пожара составляет 1–3 м/мин, при этом высота пламени может достигать 0,5...1,5 м, а температура огня 400...900 °С. Поэтому важно уйти от низового пожара, т. к. средняя скорость пешехода составляет более 80 м/мин. Идти нужно навстречу ветру, перпендикулярно кромке пожара по дорогам, полянам, просекам, оврагам, вдоль русла реки или по ручью. В случае обширного задымления нос и рот прикрывают мокрой тканью, в частности даже элементами собственной одежды [19, 20].

В смешанном или хвойном лесу при сильном ветре огонь перебрасывается на верхушки деревьев, что может привести к началу верхового пожара [21]. Огонь продвигается по верхушкам деревьев в среднем со скоростью от 5 до 100 м/мин, а иногда и быстрее. Потоки горячего воздуха разносятся ветром вместе с искрами и горящими ветками, создавая новые очаги возгорания, и поджигают лес со скоростью до десятков метров в минуту.

Эта разновидность пожара является наиболее опасной для человека, застигнутого в лесу, поскольку скорость его распространения превышает скорость, которую может развивать человек при движении. По кронам деревьев скорость распространения верхового пожара в безветренную погоду может составить 3...4 км/ч, а при сильном ветре может составлять приблизительно 225 км/ч. Температура пламени при этом составляет 1100 °С. С большой скоростью ветер разносит горящие искры и ветви, поджигая при этом все новые участки леса, распространяясь на десятки метров вокруг и образуя новые очаги возгорания.

В некоторых лесах существует опасность развития торфяного пожара. Основными его признаками являются прежде всего клубы дыма, исходящие из-под земли и сопровождающиеся характерным запахом гари. Для человека или животного в этом случае существует реальная опасность провалиться в торфяную яму, выгоревшую в результате подземного пожара. Такой вид пожара отличается от остальных достаточно медленной скоростью распространения, которая составляет всего несколько метров в сутки, границей пожара, сопровождается неожиданными прорывами огня из очага, находящегося под поверхностью земли. Торфяные пожары особенно трудно тушить.

В условиях торфяного пожара следует избегать передвижений по болотам или заболоченным местностям и только в случае крайней необходимости, важно держаться друг за друга на случай

провала в выгоревшую яму, медленно передвигаться, проверяя почву впереди себя длинной палкой, с усилием втыкая ее в почву [22].

Существуют и другие разновидности природных пожаров. К ним можно отнести пожары на оленьих тундровых пастбищах, в горах и на равнине, степные пожары, тростниковые пожары по берегам рек и озер. Это природное бедствие представляет большую опасность для молодняка зверей, гнездящихся птиц и остальных животных данных биотопов. Как и в случаях возникновения низовых пожаров, в условиях этих пожаров горят мелкий кустарник, трава, мох, сухой тростник, растущий по берегам рек, прошлогодняя листва [24].

Приближение верхового пожара можно определить по стелящемуся над лесом дыму и запаху гари, на небе можно наблюдать в такой момент отблески света на низких облаках со стороны надвигающегося пожара и по распространяющемуся зареву на линии горизонта. Важно обратить внимание на поведение животных и птиц — беспокойное ли оно. Если есть возможность, необходимо отыскать на карте, а затем и на местности ближайшие безопасные при пожаре места (озера, русла рек, болота с открытой водой, другие безлесные и желательны сырые пространства) и, не теряя времени незамедлительно следовать к ним.

При неожиданном приближении огня и сильном верховом природном пожаре следует как можно скорее покинуть опасное место и выйти на открытое пространство. В других случаях необходимо идти перпендикулярно распространяющемуся пожару, стараясь обойти его сбоку и даже зайти за него. При необходимости органы дыхания закрывают смоченной тканью или деталью одежды, подходящими для этих целей. Можно хорошо намочить одежду водой и дышать ровно, находясь у самой поверхности земли.

Лишь оказавшись позади пожара, можно на какое-то время почувствовать себя в безопасности и немного отдохнуть, но задерживаться надолго не стоит, так как ветер в любой момент может измениться и нужно будет искать еще более безопасное место — реку или другой водоем, лишенное растительности каменистое место или возвышенность, можно лечь в воду или отойти как можно подальше от берега для исключения попадания горящих верхушек и веток. Если мелководье служит укрытием от пожара, желательны лечь полностью в воду, обернув при этом голову обильно смоченной тканью или просто одеждой.

Если пожар настигает на лишенной воды местности, следует увеличить скорость передвижения, сбросив часть вещей и оставив только самое необходимое, что может пригодиться в таких условиях — аптечку, запас воды, нож, лопату, топор, куски плотного материала [25].

Необходимо стараться найти более открытое пространство и выйти на него, в частности на большую поляну или опушку леса. Следует снять с себя всю синтетическую и легковоспламеняющуюся одежду, выбрать место с рыхлым и желательны влажным грунтом для сооружения импровизированного укрытия в виде как можно более глубокой ямы по длине человеческого роста, положить на ее дно самые ценные вещи, лечь и забросать себя сверху землей, по возможности без примеси листвы и веток, способных гореть. Защитить голову насколько возможно от дыма и огня необходимо мокрой повязкой из ткани. После прохождения огня через ваше укрытие, выберетесь из него. Важно провести осмотр на предмет повреждений и ожогов, при необходимости оказать первую помощь пострадавшим. Затем следует собрать остатки снаряжения и уцелевшие продукты и обсудить безопасный маршрут для передвижения в безопасную зону.

## Выводы

Природа — среда и человек — два связанных и слитых неразрывно друг с другом компонента. Мы, создавая себе условия для благополучной жизни, не замечаем вред, который при этом наносим природе, оспариваем нашу зависимость от нее и думаем лишь о том, как подчинить природную среду себе и пытаемся направить ее развитие в своих интересах. Практически все пребывание людей в лесу связано с удовлетворением тех или иных потребностей, но при этом забываются элементарные требования пожарной безопасности, зачастую наносится вред лесу и всему живому вокруг. Каждый человек перед походом в лес должен в первую очередь знать правила безопасного пребывания в лесу и необходимы действия в случае возникновения природного пожара.

## Список литературы

- [1] Орловский С.Н. Борьба с лесными, степными и торфяными пожарами. ФРГ: LAP LAMBERT Acad. Publ., 2016. 493 с.
- [2] Бердникова Л.Н. Медико-биологические основы безопасности. Красноярск: Изд-во Красноярского ГАУ, 2020. 205 с.
- [3] Орловский С.Н., Бердникова Л.Н. Выбор оптимальных технологий тушения лесных пожаров в Мининском лесничестве Красноярского края // Приоритетные направления регионального развития: материалы Всерос. (национальной) науч.-практ. конф. с междунар. участием, Курган, 06 февраля 2020 г. Курган: Курганская государственная сельскохозяйственная академия им. Т.С. Мальцева (Лесниково), 2020. С. 561–565.
- [4] Кухар И.В., Орловский С.Н., Бердникова Л.Н., Мартыновская С.Н., Коршун В.Н., Карнаухов А.И. Влияние опасных и вредных факторов лесных пожаров на окружающую среду // Хвойные бореальной зоны, 2019. Т. 37. № 5. С. 307–312.
- [5] Федоров В.С. Основы обеспечения пожарной безопасности зданий. М.: АСВ, 2018. 176 с.

- [6] Бердникова Л.Н. Охрана лесов от природных пожаров в национальном парке «Шушенский бор» // Современные проблемы землеустройства, кадастров и природообустройства: Матер. науч. конф., Красноярск, 17 мая 2019 г. Красноярск: Красноярский ГАУ, 2019. 331 с.
- [7] Михайлов Ю.М. Пожарная безопасность учреждения социального обслуживания. М.: Альфа-Пресс, 2013. 120 с.
- [8] Коровин Г.Н., Исаев А.С. Охрана лесов от пожаров как важнейший элемент национальной безопасности России // Защита населения и территорий при чрезвычайных ситуациях в мирное и военное время как составная часть национальной безопасности России. Тез. докл. и выступлений. М.: Внешторгиздат, 1997. С. 91–95.
- [9] Холщевников В.В., Самошин Д.А. Эвакуация и поведение людей при пожарах. М.: Академия ГПС МЧС России, 2009. 212 с.
- [10] Козаченко М.А. Лесные пожары и борьба с ними / под ред. Д.А. Соловьева. Саратов: Саратовский ГАУ им. Н.И. Вавилова, 2013. 200 с.
- [11] Лесные пожары в России. Статистика и антирекорды. URL: <https://tass.ru/info/6712527> (дата обращения 27.10.2020).
- [12] Козаченко М.А. Мониторинг лесных пожаров: краткий курс лекций для аспирантов направления подготовки. Саратов: Саратовский ГАУ, 2014. 31 с.
- [13] Богданов М.И., Архипов Г.Ф., Мясенков Е.И. Справочник по пожарной технике и тактике. Санкт-Петербург: УГПС СПб и ЛО МЧС России, 2007. 120 с.
- [14] Безопасность жизнедеятельности / под ред. С.В. Белова. М.: Высшая школа, 2007. 305 с.
- [15] Дутова В.И., Чурсина И.Г. Психологические и гигиенические аспекты деятельности человека при пожаре. М.: НПЦ «Защита», 1993. 300 с.
- [16] Куликов Г.Б. Безопасность жизнедеятельности. М.: Мир книги, 2008. 269 с.
- [17] Зинов Г.И. Наземная охрана лесов от пожаров // Охрана лесов от пожаров. М.: Лесная пром-сть, 1984. С. 43–89.
- [18] Русак О.Н. Краткий словарь по безопасности жизнедеятельности. СПб.: МАНЭБ, 2007. 230 с.
- [19] Журавлев А.Л. Совместная деятельность как объект социально-психологического исследования // Совместная деятельность: методология, теория, практика. М.: Наука, 1988. С. 19–36.
- [20] Тербнев В.В., Артемьев В.В., Подгрушный А.В. Противопожарная защита и тушение пожаров. М.: Пожарная, 2007. Кн. 5: Леса, торфяники, лесосклады, 2007. 356 с.
- [21] Шорыгина Т.А. Беседы о правилах пожарной безопасности. М.: Сфера, 2017. 369 с.
- [22] Барановский Н.В., Гришин А.М., Лоскутникова Т.П. Информационно-прогностическая система определения вероятности возникновения лесных пожаров // Вычислительные технологии, 2003. Т. 8. № 2. С. 16–26.
- [23] Нестеров Л.И. Что мы знаем о лесах и пожарах в них? // Вопросы статистики, 2006. № 4. С. 91–93.
- [24] Гришин А.М. О влиянии негативных экологических последствий лесных пожаров // Экологические системы и приборы, 2003. № 4. С. 40–43.
- [25] Безопасность и защита населения в чрезвычайных ситуациях / под ред. Г.Н. Кириллова. М.: ИЦ ЭНАС, 2001. 259 с.

## Сведения об авторе

**Бердникова Лариса Николаевна** — канд. с.-х. наук, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет», [Vlaga26@mail.ru](mailto:Vlaga26@mail.ru)

Поступила в редакцию 12.05.2021.

Принята к публикации 09.09.2021.

## SAFETY MEASURES FOR PEOPLE DURING FOREST FIRES

**L.N. Berdnikova**

Krasnoyarsk State Agrarian University (Krasnoyarsk SAU), 90, Mira av. 660049, Krasnoyarsk, Russia

[Vlaga26@mail.ru](mailto:Vlaga26@mail.ru)

The analysis of the forest fire types and safety measures for people in the forest during the fire was carried out. Based on the object and the specifics of a forest fire, in particular the nature of vegetation or soils, appropriate rescue methods have been developed, and an assessment is given to the signs of hidden hazardous factors of the fire. The only chance for rescue is correct and clear actions which each person should be trained.

**Keywords:** forest fire, population, forest, fire, safety, rescue, natural disaster, safe zone

**Suggested citation:** Berdnikova L.N. *Mery bezopasnosti lyudey, nakhodyashchikhsya v lesu, pri vozniknovenii lesnykh pozharov* [Safety measures for people during forest fires]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 5, pp. 51–55. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-5-51-55

## References

- [1] Orlovskiy S.N. *Bor'ba s lesnymi, stepnymi i torfyanyami pozharami* [Fighting forest, steppe and peat bog fires]. Germany: LAP LAMBERT Acad. Publ., 2016, 493 p.
- [2] Berdnikova L.N. *Mediko-biologicheskie osnovy bezopasnosti* [Medical and biological foundations of safety]. Krasnoyarsk: Krasnoyarsk GAU, 2020, 205 p.



- [3] Orlovskiy S.N., Berdnikova L.N. *Выбор оптимальных технологий тушения лесных пожаров в Мининском лесничестве Красноярского края* [The choice of optimal technologies for extinguishing forest fires in the Mininsky forestry of the Krasnoyarsk Territory]. *Prioritetnye napravleniya regional'nogo razvitiya: materialy Vserossiyskoy (natsional'noy) nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* [Priority areas of regional development: materials of the All-Russian (national) scientific-practical conference with international participation]. Lesnikovo: Kurgan State Agricultural Academy named after T.S. Maltseva, 2020, pp. 561–565.
- [4] Kukhar I.V., Orlovskiy S.N., Berdnikova L.N., Martynovskaya S.N., Korshun V.N., Karnaukhov A.I. *Vliyaniye opasnykh i vrednykh faktorov lesnykh pozharov na okruzhayushchuyu sredu* [Influence of hazardous and harmful factors of forest fires on the environment]. *Khvoynye boreal'noy zony* [Coniferous boreal zones], 2019, v. 37, no. 5, pp. 307–312.
- [5] Fedorov V.S. *Osnovy obespecheniya pozharnoy bezopasnosti zdaniy* [Fundamentals of ensuring fire safety of buildings]. Moscow: ASV, 2018, 176 p.
- [6] Berdnikova L.N. *Okhrana lesov ot prirodnykh pozharov v natsional'nom parke «Shushenskiy bor»* [Protection of forests from natural fires in the national park «Shushensky Bor»]. *Sovremennyye problemy zemleustroystva, kadaстров i prirodobustroystva* [Modern problems of land management, cadastres and environmental management]. Materials of the National scientific conference, Krasnoyarsk, May 17, 2019. Krasnoyarsk: Krasnoyarsk GAU, 2019, 331 p.
- [7] Mikhaylov Yu.M. *Pozharnaya bezopasnost' uchrezhdeniya sotsial'nogo obsluzhivaniya* [Fire safety of a social service institution]. Moscow: Alfa-Press, 2013, 120 p.
- [8] Korovin G.N., Isaev A.S. *Okhrana lesov ot pozharov kak vazhneyshiy element natsional'noy bezopasnosti Rossii* [Protection of forests from fires as the most important element of the national security of Russia]. *Zashchita naseleniya i territoriy pri chrezvychaynykh situatsiyakh v mirnoe i voennoe vremya kak sostavnaya chast' natsional'noy bezopasnosti Rossii* [Protection of the population and territories in emergency situations in peacetime and wartime as an integral part of the national security of Russia]. Abstracts of reports and speeches. Moscow: Vneshtorgizdat, 1997, pp. 91–95.
- [9] Kholshchevnikov V.V., Samoshin D.A. *Evakuatsiya i povedenie lyudey pri pozharakh* [Evacuation and behavior of people in case of fires]. Moscow: Akademiya GPS MChS Rossii [Academy of State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia], 2009, 212 p.
- [10] Kozachenko M.A. *Lesnye pozhary i bor'ba s nimi* [Forest fires and fighting them]. Saratov: Saratov GAU, 2013, 200 p.
- [11] *Lesnye pozhary v Rossii. Statistika i antirekordy* [Forest fires in Russia. Statistics and anti-records]. Available at: <https://tass.ru/info/6712527> (accessed 27.10.2020).
- [12] Kozachenko M.A. *Monitoring lesnykh pozharov* [Monitoring of forest fires]. Saratov: Saratov State Agrarian University, 2014, 31 p.
- [13] Bogdanov M.I., Arkhipov G.F., Myastenkov E.I. *Spravochnik po pozharnoy tekhnike i taktike* [Reference book on fire fighting equipment and tactics]. St. Petersburg: UGPS SPb and LO EMERCOM of Russia, 2007, 120 p.
- [14] *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti* [Life Safety]. Ed. S.V. Belov. Moscow: Vysshaya shkola [Higher school], 2007, 305 p.
- [15] Dutova V.I., Chursina I.G. *Psikhofiziologicheskie i gigienicheskie aspekty deyatel'nosti cheloveka pri pozhare* [Psychophysiological and hygienic aspects of human activity during a fire]. Moscow: SPC «Zashchita», 1993, 300 p.
- [16] Kulikov G.B. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti* [Life safety]. Moscow: Mir knigi, 2008, 269 p.
- [17] Zinov G.I. *Nazemnaya okhrana lesov ot pozharov* [Ground protection of forests from fires]. *Okhrana lesov ot pozharov* [Protection of forests from fires]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Timber industry], 1984, pp. 43–89.
- [18] Rusak O.N. *Kratkiy slovar' po bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti* [A Brief Dictionary of Life Safety]. St. Petersburg: MANEB, 2007, 230 p.
- [19] Zhuravlev A.L. *Sovmestnaya deyatel'nost' kak ob'ekt sotsial'no-psikhologicheskogo issledovaniya* [Joint activity as an object of socio-psychological research]. *Sovmestnaya deyatel'nost': metodologiya, teoriya, praktika* [Joint activity: methodology, theory, practice]. Moscow: Nauka, 1988, pp. 19–36.
- [20] Terebnev V.V., Artem'ev V.V., Podgrushnyy A.V. *Protivopozharnaya zashchita i tushenie pozharov* [Fire protection and fire fighting]. Moscow: Pozhnauka, 2007, book 5: Forests, peat bogs, log stores, 2007, 356 p.
- [21] Shorygina T.A. *Besedy o pravilakh pozharnoy bezopasnosti* [Conversations about fire safety rules]. Moscow: Sfera, 2017, 369 p.
- [22] Baranovskiy N.V., Grishin A.M., Loskutnikova T.P. *Informatsionno-prognosticheskaya sistema opredeleniya veroyatnosti vozniknoveniya lesnykh pozharov* [Information-prognostic system for determining the probability of forest fires]. *Vychislitel'nye tekhnologii* [Computational technologies], 2003, v. 8, no. 2, pp. 16–26.
- [23] Nesterov L.I. *Chto my znaem o lesakh i pozharakh v nikh?* [What do we know about forests and fires in them?]. *Voprosy statistiki* [Questions of statistics], 2006, no. 4, pp. 91–93.
- [24] Grishin A.M. *O vliyaniy negativnykh ekologicheskikh posledstviy lesnykh pozharov* [On the influence of negative environmental consequences of forest fires]. *Ekologicheskie sistemy i pribory* [Ecological systems and devices], 2003, no. 4, pp. 40–43.
- [25] *Bezopasnost' i zashchita naseleniya v chrezvychaynykh situatsiyakh* [Safety and protection of the population in emergency situations]. Ed. G.N. Kirillov. Moscow: NTs ENAS, 2001, 259 p.

## Author's information

**Berdnikova Larisa Nikolaevna** — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Department of Life Safety, Krasnoyarsk State Agrarian University, [Vlaga26@mail.ru](mailto:Vlaga26@mail.ru)

Received 12.05.2021.

Accepted for publication 09.09.2021.

## ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НЕКОТОРЫХ СОРТОВ РОДА *HOSTA* L. ИЗ КОЛЛЕКЦИИ ЛАБОРАТОРИИ ДЕКОРАТИВНЫХ РАСТЕНИЙ ГЛАВНОГО БОТАНИЧЕСКОГО САДА РАН НА ОБЪЕКТАХ ГОРОДСКОЙ ЛАНДШАФТНОЙ АРХИТЕКТУРЫ

Ю.А. Хохлачева<sup>1</sup>, Н.А. Мамаева<sup>1</sup>, Я.В. Кузнецова<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>Российский государственный аграрный университет — Московская сельскохозяйственная академия имени К.А. Тимирязева, 127550, Москва, Тимирязевская ул., д. 49

jusic-la@yandex.ru

Согласно одному из современных трендов, ботанические сады, находящиеся в черте городов, должны быть их структурной частью не только в территориальном, но и в функциональном аспекте. Поэтому целью работы является научно обоснованный отбор представителей рода *Hosta* L. из состава коллекции лаборатории декоративных растений Главного ботанического сада РАН (ГБС РАН) — культиваров, перспективных для применения в городских ландшафтных композициях и разработка различных вариантов цветочных композиций. Объект исследований — выборка представителей рода *Hosta* из коллекции лаборатории декоративных растений ГБС РАН, содержащая 23 наименования. Состав выборочной совокупности сформирован на основе учета четырех критериев: 1) устойчивости в культуре; 2) принадлежности сортов к разным садовым группам; 3) достаточной распространенности сорта; 4) высокого коэффициента вегетативного размножения. Статистическую обработку экспериментальных данных осуществляли в соответствии с классическими методиками с помощью программы «STATISTICA Base». Разработка моделей цветников выполнена на основе общепринятых при проектировании ландшафтных композиций способов и приемов с помощью программы AutoCad. В ходе проведенных исследований осуществлен отбор перспективных для городского озеленения представителей рода *Hosta* и предложено восемь вариантов цветочных композиций (рокарий, 2 группы и 5 миксбордеров). Установлено, что у всех рекомендованных к использованию представителей рода *Hosta* в структуре изменчивости изученных количественных признаков доминирует влияние генетических особенностей, что обеспечивает высокую вероятность сохранения запланированной структуры цветочных композиций в ходе эксплуатации объекта ландшафтной архитектуры.

**Ключевые слова:** *Hosta* L., ГБС РАН, ландшафтная архитектура, городское озеленение

**Ссылка для цитирования:** Хохлачева Ю.А., Мамаева Н.А., Кузнецова Я.В. Потенциальные возможности применения некоторых сортов рода *Hosta* L. из коллекции лаборатории декоративных растений Главного ботанического сада РАН на объектах городской ландшафтной архитектуры // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 5. С. 56–73. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-5-56-73

В настоящее время на развитие ботанических садов существенное влияние оказывает глобализация [1]. Изменяются потребности социума, которые влекут за собой объективную модификацию спектра направлений деятельности ботанических садов и расширению их функциональных характеристик. При этом полифункциональная значимость ботанических учреждений (научная и экологическая, научная и рекреационная, научная и образовательно-просветительская и т. д.) уже стала традиционной и в некотором смысле обязательной [2, 3]. Кроме того, согласно одному из активно развивающихся трендов, ботанические сады, находящиеся в черте городов, должны быть их структурной частью не только в территориальном, но и в функциональном аспекте [4, 5].

Каждый современный ботанический сад наряду с традиционными функциями формирует и развивает собственные приоритеты [6–9]. Для большинства ботанических учреждений одну из главных задач научно-исследовательской ра-

боты составляет интродукция растений в целях их эффективного распространения за пределы естественных ареалов [10]. Ботанические сады, расположенные на территории крупных городов, автоматически приобретают возможность для экспериментального изучения механизмов устойчивости широкого спектра растений и долгосрочного прогнозирования развития урбанофитоценозов при постоянно возрастающей антропогенной нагрузке. Планомерная реализация этого направления создает, прежде всего, предпосылки для формирования ассортимента интродуцированных растений, перспективных для использования в оформлении городских территорий различного назначения. Для современных крупных городов формирование такого ассортимента приобретает актуальность, поскольку развитие городской инфраструктуры, как правило, обуславливает ухудшение экологической обстановки. Адекватным решением вопроса может стать активное использование правильно организованных озеле-

ненных территорий для создания и поддержания полноценной окружающей среды, отвечающей экономическим, функциональным и эстетическим требованиям.

## Цель работы

Цель работы — научно обоснованный отбор представителей рода *Hosta* L. из состава коллекции лаборатории декоративных растений Главного ботанического сада РАН (ГБС РАН) — культиваров, перспективных для применения в городских ландшафтных композициях и разработка различных вариантов цветочных композиций.

## Материалы и методы

Модельным объектом исследований является выборка представителей рода *Hosta* из коллекции лаборатории декоративных растений ГБС РАН, содержащая 23 наименования. Это вид культивированного происхождения — *H. undulata* L.H. Bailey, два сорта, полученные на его основе — ‘Albomarginata’ и ‘Univittata’, а также 20 сортов гибридного происхождения: ‘August Beauty’, ‘Brim Cup’, ‘Cascade Mist’, ‘El Nino’, ‘Forest Shadows’, ‘Frances Williams’, ‘Hanky Panky’, ‘Illicit Affair’, ‘Independence’, ‘Inniswood’, ‘Julie Morss’, ‘June’, ‘Kiwi Full Monty’, ‘Liberty’, ‘Linda Sue’, ‘Revolution’, ‘Stained Glass’, ‘Super Nova’, ‘Tango’ и ‘Wolverine’. Состав выборочной совокупности сформирован на основе учета четырех критериев: 1) устойчивости в культуре; 2) принадлежности сортов к разным садовым группам; 3) достаточной распространенности сорта; 4) высокого коэффициента вегетативного размножения. В качестве источников информации использованы литературные данные [11, 12] и собственные исследования.

Для сравнительного анализа исследуемых сортов использованы 19 количественных характеристик, значимых, на наш взгляд, при использовании хост на различных объектах городской ландшафтной архитектуры любой категории (как общего и ограниченного пользования, так и специального назначения).

Фиксация колористических характеристик листовых пластинок проведена с применением стандартизированной цветовой шкалы RHS Colour Chart, а формирование массива цифровых данных — с использованием компьютерной программы AutoCad.

Статистическую обработку полученных в ходе научно-исследовательской работы экспериментальных данных осуществляли в соответствии с классическими методиками [13] с помощью программы «STATISTICA Base».

Разработка моделей цветников выполнена на основе общепринятых при проектировании



ландшафтных композиций способов и приемов [14] с использованием специализированной программы AutoCad.

## Результаты исследования

Собрание представителей рода *Hosta* в ГБС РАН как автономная моноколлекция, сформировано относительно недавно [15]. Ранее в его составе насчитывалось семь видов и четыре сорта: *H. albo-marginata* (Hook) Hgl, *H. decorata* Bailey, *H. fortunei* hort ‘Marginata-alba’, *H. lancifolia*, *H. minor* (Baker) Nakei, *H. sieboldiana* Engl., *H. sieboldiana* ‘Aureovariegata’, *H. undulata* ‘Unvittata’, *H. ventricosa*, *H. ventricosa* ‘Aureomaculata’ [16]. Все они были представлены на коллекционно-экспозиционном участке «Теневой сад».

В настоящее время основная коллекция представителей рода *Hosta*, расположенная на территории коллекции-экспозиции декоративных травянистых растений, включает в себя три участка, где в качестве основного принципа экспонирования принято распределение сортов по типам окраски листовой пластинки. В ее состав (по данным осенней инвентаризации 2020 г.) входят восемь видов и 96 сортов.

В целях эффективного использования при проведении научно-исследовательских работ сорта в составе современной коллекции представителей рода *Hosta* также ранжированы согласно классификациям, разработанным Американским обществом любителей хост (American Hosta Growers





Сорт 'August Beauty'



Сорт 'Frances Williams'

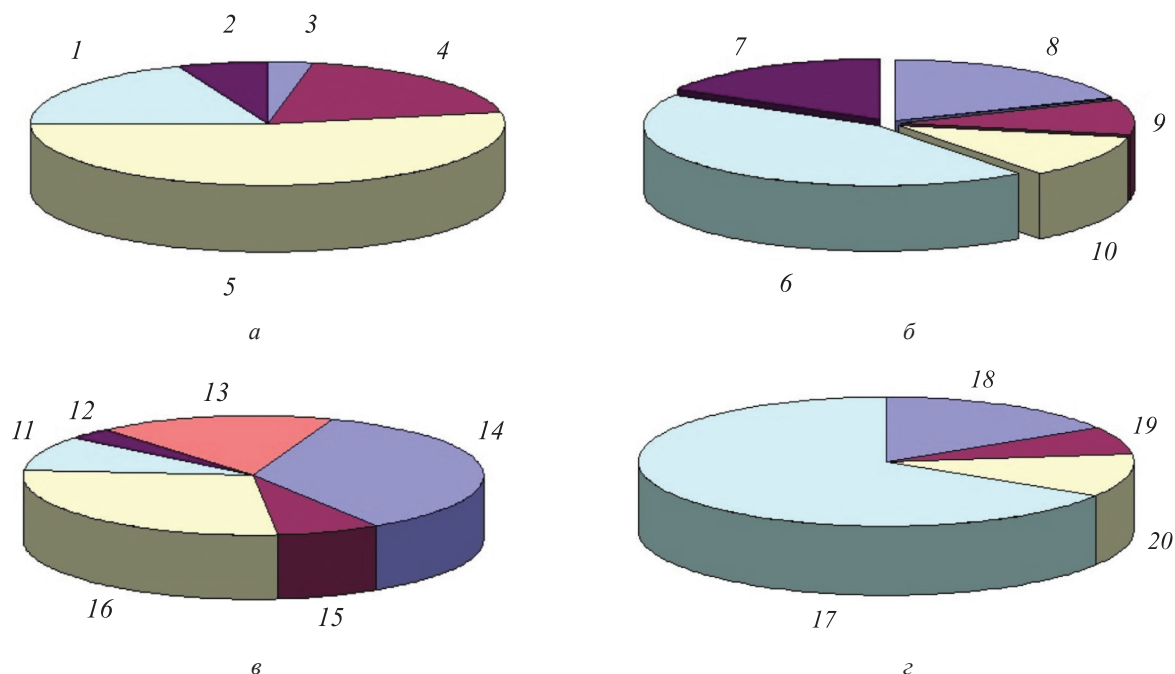


Сорт 'Brim Cup'



Сорт 'Univittata'





**Рис. 1.** Распределение сортов *Hosta* в зависимости от высоты растений (а), окраски листовых пластинок (б), формы (в) и фактуры поверхности (г) листовой пластинки в составе современной коллекции ГБС РАН: *высота растений*: 1 — большие (18 %); 2 — гигантские (6 %); 3 — миниатюрные (3 %); 4 — маленькие (18 %); 5 — средние (51 %); *окраска листовых пластинок*: 6 — вариегатная (43 %); 7 — медиевариегатная (17 %); 8 — голубая (19 %); 9 — зеленая (9 %); 10 — желтая (12 %); *форма листовых пластинок*: 11 — линейно-ланцетная (9 %); 12 — волнистая (3 %); 13 — стреловидная (17 %); 14 — округлая (35 %); 15 — овальная (8 %); 16 — сердцевидная (28 %); *фактура поверхности листовых пластинок*: 17 — с «крокодиловой» кожей (66 %); 18 — с восковым налетом (16 %); 19 — с блеском (7 %); 20 — без особенной фактуры поверхности (11 %)

**Fig. 1.** Distribution of *Hosta* varieties depending on the height of plants (a), color of leaf blades (б), shape (в) and surface texture (г) of the leaf blade in the modern collection of the MBG RAS: *plant height*: 1 — large (18 %); 2 — giant (6 %); 3 — miniature (3 %); 4 — small (18 %); 5 — medium (51 %); *leaf blade color*: 6 — variegate (43 %); 7 — mediovariegate (17 %); 8 — blue (19 %); 9 — green (9 %); 10 — yellow (12 %); *leaf blade shape*: 11 — linear-lanceolate (9 %); 12 — wavy (3 %); 13 — swept (17 %); 14 — rounded (35 %); 15 — oval (8 %); 16 — heart-shaped (28 %); *surface texture of leaf blades*: 17 — with «crocodile» skin (66 %); 18 — with a waxy coating (16 %); 19 — with a gloss (7 %); 20 — without a special surface texture (11 %)

Association), по высоте растений (как базовому морфологическому признаку), окраске, форме, фактуре листовых пластинок (рис. 1). Кроме того, при формировании выборки сортов учтено наличие у них способности к изменению пигментации листьев в течение вегетационного периода.

Согласно современным тенденциям, связанным с содержанием полевых генетических банков, одним из необходимых условий нахождения растений в коллекциях является возможность их использования в практических целях. Для декоративных растений наиболее очевиден вариант их применения в системе озеленения урбанизированных территорий.

В рамках настоящего исследования отбор потенциально перспективных сортов рода *Hosta* проведен для их использования в различных вариантах цветочных композиций — бордюрах, лентах, группах, солитерах, массивах, рокариях, миксбордерах, которые можно размещать в пределах городских объектов ландшафтной архитектуры [14, 17, 18].

Для выявления и оценки достоверности различий между исследуемыми образцами по отдельным количественным признакам проведен однофакторный дисперсионный анализ [13]. При этом определяющее влияние генетических особенностей на реализацию рассматриваемых количественных признаков в фенотипе установлено для всех членов выборочной совокупности. А доля влияния случайных факторов в структуре общей изменчивости признаков незначительна (табл. 1). Поэтому в группах культиваров с отсутствием существенных статистических различий выбор любого из них для использования в составе цветочных композиций обеспечит практически идентичный результат.

Поскольку представители рода *Hosta* в оформлении городских территорий парков, скверов, бульваров, садов микрорайонов и др. являются достаточно универсальным компонентом [19], в настоящей работе предложено восемь различных ландшафтных композиций с их использованием.





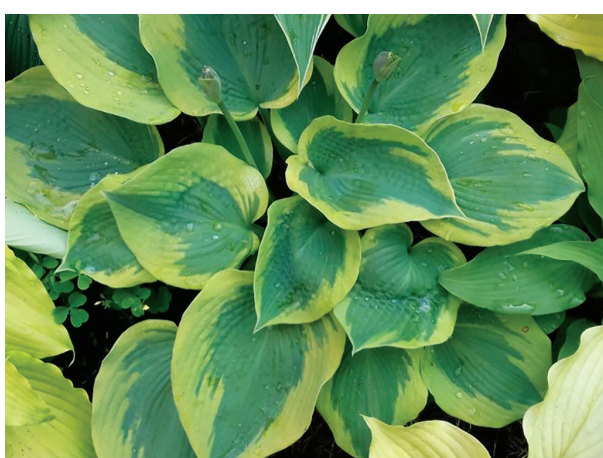
Вид *H. undulata*



Сорт 'Albomarginata'



Сорт 'Liberty'



Сорт 'Linda Sue'



Т а б л и ц а 1

**Вариабельность количественных характеристик листовых пластинок  
у исследуемых представителей рода *Hosta* из состава коллекции  
лаборатории декоративных растений ГБС РАН**

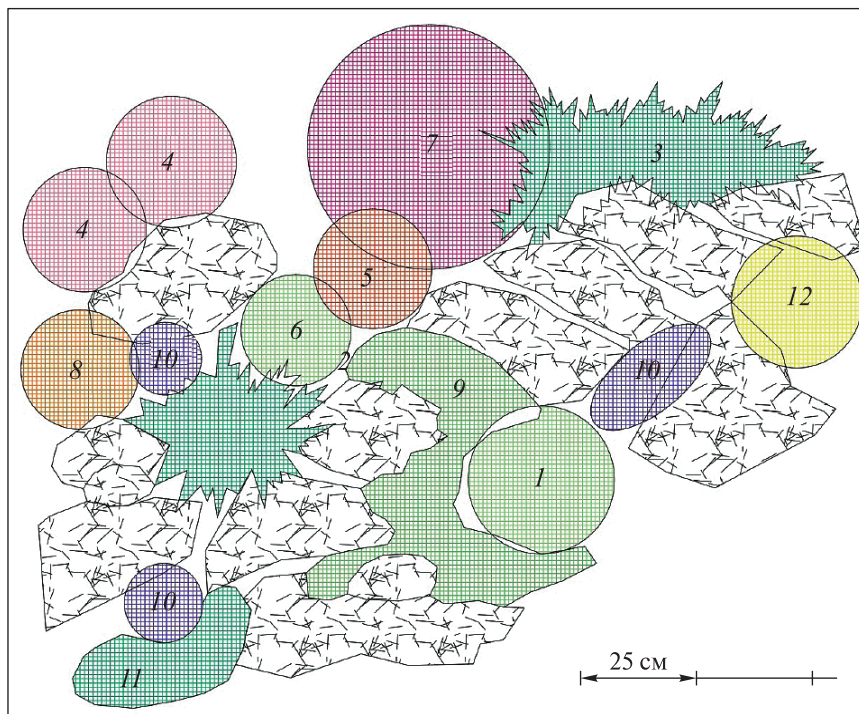
**Variability of quantitative characteristics of leaf blades in the studied varieties of the genus *Hosta*  
from the collection of the laboratory of ornamental plants of the MBG RAS**

Сорт	Длина черешка, см	Длина листа, см	Ширина листа, см	Общая площадь листа, мм <sup>2</sup>
<i>H. undulata</i>	22,3	13,7	5,6	51,6
<i>H. undulata</i> 'Albomarginata'	28,0	21,9	10,5	167,9
<i>H. undulata</i> 'Univittata'	23,9	13,8	7,0	72,2
<i>H. x hybrida</i> 'August Beauty'	35,6	19,7	17,8	266,3
<i>H. x hybrida</i> 'Brim Cup'	17,8	11,9	9,6	84,7
<i>H. x hybrida</i> 'Cascade Mist'	19,3	8,0	17,1	113,7
<i>H. x hybrida</i> 'El Nino'	23,4	14,6	7,1	71,8
<i>H. x hybrida</i> 'Forest Shadows'	23,6	18,5	9,6	116,9
<i>H. x hybrida</i> 'Frances Williams'	26,3	22,4	16,8	260,3
<i>H. x hybrida</i> 'Hanky Panky'	21,5	10,1	4,5	31,2
<i>H. x hybrida</i> 'Illicit Affair'	24,1	7,2	6,2	30,2
<i>H. x hybrida</i> 'Independence'	26,4	18,1	13,2	171,9
<i>H. x hybrida</i> 'Inniswood'	26,5	11,5	8,5	76,0
<i>H. x hybrida</i> 'Julie Morss'	34,0	20,6	13,4	203,1
<i>H. x hybrida</i> 'June'	29,0	9,3	4,3	27,2
<i>H. x hybrida</i> 'Kiwi Full Monty'	30,9	13,5	10,9	129,5
<i>H. x hybrida</i> 'Liberty'	20,9	23,1	16,5	274,6
<i>H. x hybrida</i> 'Linda Sue'	24,2	17,7	13,0	172,4
<i>H. x hybrida</i> 'Revolution'	15,8	15,1	10,6	109,7
<i>H. x hybrida</i> 'Stained Glass'	23,9	19,6	13,1	190,5
<i>H. x hybrida</i> 'Super Nova'	36,6	21,5	15,0	240,8
<i>H. x hybrida</i> 'Tango'	29,7	13,1	9,7	93,3
<i>H. x hybrida</i> 'Wolverine'	25,5	14,5	7,2	66,6
Результаты статистической обработки экспериментальных данных				
F <sub>ф</sub> /F <sub>05</sub>	103,245/ 1,56	62,663/ 1,58	71,672/ 1,58	48,577/ 1,58
HCP <sub>05</sub>	1,80	1,75	1,29	29,65
Источники вариации (p <sup>in</sup> , %)				
Фактор (сорт)	82	85	85	79
Случайные	18	15	15	21

Рокарии как тип цветочного оформления могут быть как плоскими, так и холмистыми и в регулярной и свободной формах [17]. По нашему мнению, для декорирования рокариев целесообразен отбор культиваров с компактными куртинами и небольшими листьями.

В рамках настоящего исследования для оценки характеристик листовых пластинок осуществлен сравнительный анализ модель-

ных представителей рода *Hosta* по трем признакам: длине, ширине и площади листа. При этом отбор был сориентирован на минимальные показатели по всем изучаемым параметрам. Также учтена форма куртины на основе использования результатов полевых экспериментов на базе коллекции рода *Hosta* лаборатории декоративных растений ГБС РАН и литературные данные [12].



**Рис. 2.** Рокарий: 1 — *Pinus mugo* 'Minikin'; 2 — *Juniperus horizontalis* 'Prince of Wales'; 3 — *Ju. sabina* 'Rockery Gem'; 4 — *Amygdalus nana*; 5 — *Chaenomeles japonica* 'Sargentii'; 6 — *Hosta x hybrida* 'Illicit Affair'; 7 — *Berberis thunbergii* 'Atropurpurea'; 8 — *Spiraea japonica* 'Goldflame'; 9 — *H. undulata*; 10 — *Iris aphylla*; 11 — *H. x hybrida* 'June'; 12 — *H. x hybrida* 'Hanky Panky'

**Fig. 2.** The rockery: 1 — *Pinus mugo* 'Minikin'; 2 — *Juniperus horizontalis* 'Prince of Wales'; 3 — *Ju. sabina* 'Rockery Gem'; 4 — *Amygdalus nana*; 5 — *Chaenomeles japonica* 'Sargentii'; 6 — *Hosta x hybrida* 'Illicit Affair'; 7 — *Berberis thunbergii* 'Atropurpurea'; 8 — *Spiraea japonica* 'Goldflame'; 9 — *H. undulata*; 10 — *Iris aphylla*; 11 — *H. x hybrida* 'June'; 12 — *H. x hybrida* 'Hanky Panky'

Отсутствие существенных различий, на 5%-м уровне значимости, установлено между сортами 'Cascade Mist' и 'Illicit Affair' по длине листа, между культивируемым видом *H. undulata* и сортами 'Hanky Panky' и 'June' — по его ширине, а также между культивируемым видом *H. undulata* и сортами 'Hanky Panky', 'Illicit Affair' и 'June' — по площади листовой пластинки. Поэтому в составе исследуемой выборочной совокупности можно выделить четыре образца рода *Hosta* с небольшими размерами листьев: культивируемый вид *H. undulata* и сорта 'Hanky Panky', 'Illicit Affair' и 'June'. По нашему мнению, их можно рекомендовать для использования при оформлении рокария, так как их фенотипические характеристики хорошо вписываются в указанный тип объектов ландшафтной архитектуры (рис. 2).

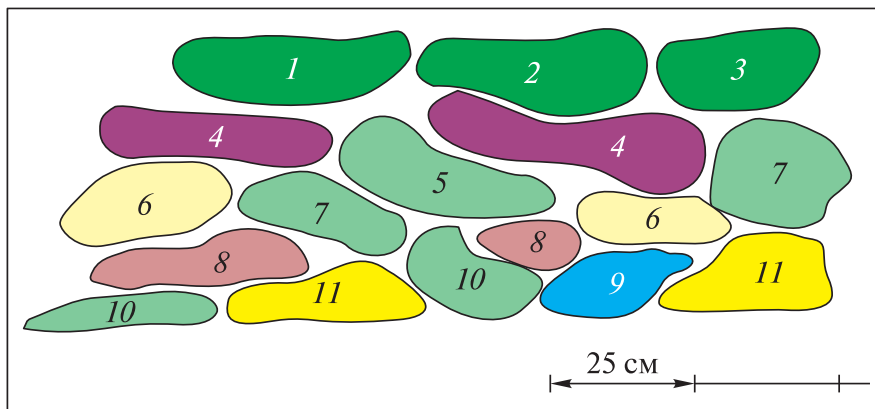
Для оформления среднего и заднего плана цветочных композиций целесообразен отбор представителей рода *Hosta* с наибольшими параметрами листовых пластинок для их использования в качестве компонента миксбордеров.

В рамках заданных критериев отсутствие существенных статистических различий выявлено между сортами 'Albomarginata', 'Frances Williams', 'Liberty' и 'Super Nova' по длине листа,

между сортами 'August Beauty', 'Cascade Mist', 'Frances Williams' и 'Liberty' — по его ширине, между сортами 'August Beauty', 'Frances Williams' и 'Liberty' — по площади листовой пластинки. Следовательно, кластер генотипов с наиболее крупным габитусом — в рамках исследуемой выборки — образуют три сорта: 'August Beauty', 'Frances Williams' и 'Liberty'. Предлагаем вариант цветочной композиции с их использованием — миксбордер, который рекомендован авторами настоящего исследования для участков, расположенных в полутени (рис. 3).

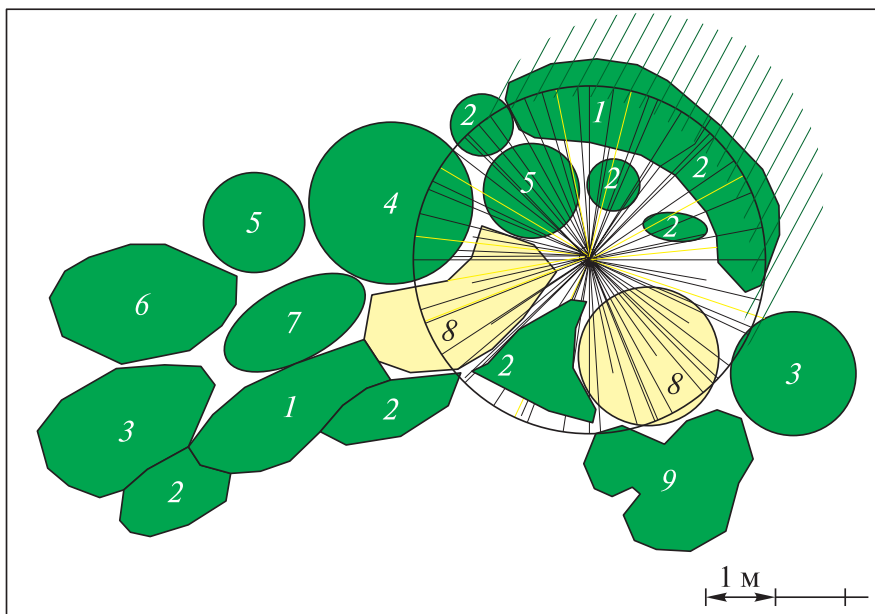
Как компонент различных типов цветников ландшафтного стиля (группы, миксбордера) правомерно использовать виды и сорта рода *Hosta* с овальным типом листовой пластинки, характеризующиеся широкой вариабельностью линейных размеров черешка. Такая форма листовой пластинки наиболее гармонично сочетается с большинством декоративных травянистых растений. А значительные различия хост по размерам черешка (от наименьших до наибольших значений в рамках каждой конкретной выборки) существенно влияют на визуальное восприятие растений в составе любой цветочной композиции.





**Рис. 3.** Миксбордер для участков в полутени: 1 — *Hosta x hybrida* ‘Frances Williams’; 2 — *H. x hybrida* ‘August Beauty’; 3 — *H. x hybrida* ‘Liberty’; 4 — *Astilbe x arendsii*; 5 — *Rosgersia aesculifolia*; 6 — *Epimedium colchicum*; 7 — *Polygonatum odoratum*; 8 — *Pulmonaria rubra*; 9 — *Omphalodes verna*; 10 — *Pachyphragma macrophyllum*; 11 — *Waldstenia geoides*

**Fig. 3.** Mixborder for areas in partial shade: 1 — *Hosta x hybrida* ‘Frances Williams’; 2 — *H. x hybrida* ‘August Beauty’; 3 — *H. x hybrida* ‘Liberty’; 4 — *Astilbe x arendsii*; 5 — *Rosgersia aesculifolia*; 6 — *Epimedium colchicum*; 7 — *Polygonatum odoratum*; 8 — *Pulmonaria rubra*; 9 — *Omphalodes verna*; 10 — *Pachyphragma macrophyllum*; 11 — *Waldstenia geoides*



**Рис. 4.** Миксбордер с включением сортов рода *Hosta* с овальной листовой пластинкой: 1 — *Maianthemum dilatatum*; 2 — *Asarum europaeum*; 3 — *Mukdenia rossii*; 4 — *Hosta x hybrida* ‘Linda Sue’; 5 — *H. x hybrida* ‘Super Nova’; 6 — *H. x hybrida* ‘August Beauty’; 7 — *Millium effusum* ‘Aureum’; 8 — *Ligularia przewalskii*; 9 — *H. x hybrida* ‘Revolution’

**Fig. 4.** Mixborder with the inclusion of genus *Hosta* varieties with an oval leaf blade: 1 — *Maianthemum dilatatum*; 2 — *Asarum europaeum*; 3 — *Mukdenia rossii*; 4 — *Hosta x hybrida* ‘Linda Sue’; 5 — *H. x hybrida* ‘Super Nova’; 6 — *H. x hybrida* ‘August Beauty’; 7 — *Millium effusum* ‘Aureum’; 8 — *Ligularia przewalskii*; 9 — *H. x hybrida* ‘Revolution’

Отметим, что в составе исследуемой выборочной совокупности указанным критериям соответствуют четыре образца. По результатам дисперсионного анализа отобраны два сорта с овальными листьями и коротким черешком — ‘Revolution’

и ‘Brim Cup’, а также два сорта с овальными листьями и длинным черешком — ‘August Beauty’ и ‘Super Nova’. Таким образом, ориентируясь на выбранные сочетания количественных и качественных признаков из состава изученной выборки

Т а б л и ц а 2

**Вариабельность площади (мм<sup>2</sup>) листовой пластинки, занимаемой каждой отдельной окраской, у культиваров рода *Hosta* из коллекции лаборатории декоративных растений ГБС РАН**

Variability of the leaf blade area (mm<sup>2</sup>) occupied by each individual color in cultivars of the genus *Hosta* from the collection of the laboratory of ornamental plants of the MBG RAS

Окраска	Код окраски по шкале RHS Colour Chart	Площадь, мм <sup>2</sup>	Окраска	Код окраски по шкале RHS Colour Chart	Площадь, мм <sup>2</sup>
<i>H. undulata</i>			<i>H. x hybrida</i> 'Independence'		
Светло-зеленая	N144A-151A	5,8	Зеленая	137C	94,2
Кремовая	157A	21,8	Светло-зеленая	N144A-151A	5,0
Темно-зеленая	137B-C	23,8	Кремовая	157A	55,2
<i>H. undulata</i> 'Albomarginata'			Серая	138B	17,3
Зеленая	137C	129,1	<i>H. x hybrida</i> 'Inniswood'		
Светло-зеленая	N144A-151A	1,27	Зеленая	137C	17,8
Кремовая	157A	25,7	Салатовая	144A	58,1
Серая	138B	11,7	<i>H. x hybrida</i> 'Julie Morss'		
<i>H. undulata</i> 'Univittata'			Светло-зеленая	N144A-151A	169,5
Зеленая	137C	65,7	Темно-зеленая	137B-C	33,5
Кремовая	157A	6,4	<i>H. x hybrida</i> 'June'		
<i>H. x hybrida</i> 'August Beauty'			Зеленая	137C	22,6
Серо-голубовато-зеленая	N138A-B	229,8	Светло-зеленая	N144A-151A	4,5
Светло-серо-зеленая	144A	36,4	<i>H. x hybrida</i> 'Kiwi Full Monty'		
<i>H. x hybrida</i> 'Brim Cup'			Зеленая	137C	81,1
Серо-зеленая	138B-C	4,8	Кремовая	157A	0,4
Зеленая	137C	38,1	Желто-зеленая	N144A	47,9
Светло-зеленая	N144A-151A	1,5	<i>H. x hybrida</i> 'Liberty'		
Желтая	151A-152C	39,0	Светло-зеленая	N144A-151A	6,9
Шартрезная	151A	1,1	Серая	138B	22,8
<i>H. x hybrida</i> 'Cascade Mist'			Желтая	151A-152C	76,7
Серо-зеленая	138B-C	9,6	Зелено-голубая	N138A	167,9
Зеленая	137C	59,6	<i>H. x hybrida</i> 'Linda Sue'		
Светло-зеленая	N144A-151A	44,3	Серо-зеленая	138B-C	111,2
<i>H. x hybrida</i> 'El Nino'			Желтая	151A-152C	61,1
Серо-зеленая	138B-C	49,8	<i>H. x hybrida</i> 'Revolution'		
Светло-зеленая	N144A-151A	0,9	Зеленая	137C	64,9
Серая	138B	6,6	Светло-зеленая	N144A-151A	6,2
Белая	145C-D	14,4	Кремовая	157A	34,5
<i>H. x hybrida</i> 'Forest Shadows'			Серая	138B	4,1
Зеленая	137C	28,1	<i>H. x hybrida</i> 'Stained Glass'		
Белая	145C-D	77,7	Зеленая	137C	40,7
Салатовая	144A	11,0	Салатовая	144A	149,6
<i>H. x hybrida</i> 'Frances Williams'			<i>H. x hybrida</i> 'Super Nova'		
Серо-голубовато-зеленая	N138A-B	79,8	Светло-зеленая	N144A-151A	89,0
Серо-зеленая	138B-C	180,4	Темно-зеленая	137B-C	151,7
<i>H. x hybrida</i> 'Hanky Panky'			<i>H. x hybrida</i> 'Tango'		
Зеленая	137C	19,1	Зеленая	137C	58,9
Светло-желтая	160C	11,9	Серая	138B	9,0
<i>H. x hybrida</i> 'Illicit Affair'			<i>H. x hybrida</i> 'Wolverine'		
Зеленая	137C	23,1	Серо-зеленая	138B-C	44,7
Светло-зеленая	N144A-151A	7,0	Кремовая	157A	21,9

представителей рода *Hosta* можно рекомендовать для использования в составе цветочных композиций (рис. 4) именно указанные выше сорта,

поскольку на выявленные количественные параметры (как уже было указано) значительное влияние оказывают их генетические особенности.

Т а б л и ц а 3

**Результат статистической обработки вариабельности площади (мм<sup>2</sup>) листовой пластинки, занимаемой каждой отдельной окраской, у культиваров рода *Hosta* из коллекции лаборатории декоративных растений ГБС РАН**

The result of statistical processing of the variability of the area (mm<sup>2</sup>) of the leaf blade occupied by each individual color in cultivars of the genus *Hosta* from the collection of the laboratory of ornamental plants of the MBG RAS

Окраска	Статистические показатели		Источники вариации (p <sup>in</sup> , %)	
	Fф/F05	НСР 05	Фактор (сорт)	Случайные
Серо-голубовато-зеленая	202,960/1,58	96,9	94	6
Серо-зеленая	159,880/1,58	9,57	92	8
Зеленая	80,688/1,58	11,00	86	14
Светло-зеленая	94,799/1,58	11,1	88	12
Кремовая	159,212/1,58	3,14	92	8
Желто-зеленая	225,698/1,58	1,84	94	6
Светло-серо-зеленая	82,498/1,58	2,31	84	16
Темно-зеленая	139,454/1,58	7,52	91	9
Серая	47,502/1,58	2,22	79	21
Белая	378,899/1,58	2,32	96	4
Салатовая	228,387/1,58	5,88	94	6
Желтая	139,547/1,58	4,16	91	9
Шартрезная	16,619/1,58	0,1	57	43
Светло-желтая	139,759/1,58	0,58	91	9
Зелено-голубая	425,857/1,58	3,35	97	3

Как известно, представители рода *Hosta* относятся к группе теневыносливых декоративных растений. При этом в отличие от многих других тенелюбивых растений, в частности, видов родов *Epimedium* L., *Pachyphragma* (DC.) Reichenb., *Peltiphyllum* Engl., *Rodgersia* A. Gray, хосты отличаются достаточной известностью и являются широко распространенной культурой. Кроме того, в настоящее время мировой ассортимент рода *Hosta* насчитывает достаточно большое количество сортов. При этом наряду с крупными сортогруппами, состоящими из представителей со сходными фенотипическими признаками, малоотличимыми по комплексу визуальных характеристик, представители различных садовых групп значительно отличаются по морфобиологическим параметрам. Также кроме габитуальных различий они отличаются вариабельностью декоративных признаков и в зависимости от характеристик фотосинтетического аппарата биологическими особенностями, связанными с требованиями к условиям культивирования. Для представителей этого рода характерен широкий полиморфизм по допустимой степени освещенности используемых территорий [11, 20]. Поэтому хосты очень часто используются ландшафтными дизайнерами при оформлении объектов с пониженной естественной освещенностью. Таким образом, расширение рекомендуемого ассортимента является

актуальной и перспективной для разработки задач.

В рамках настоящего исследования проведено сравнительное изучение представителей рода *Hosta* для отбора сортов, потенциально пригодных для использования в цветочных композициях с различной степенью естественного затенения. Это — городские территории с высокой естественной освещенностью и объекты ландшафтной архитектуры с наиболее низким уровнем инсоляции.

В качестве количественных критериев для сравнительного анализа сортов приняты данные по площадям, занимаемым различными по колористическим характеристикам участками листовых пластинок (табл. 2, 3), а также их соотношение, рассчитанное в процентах (табл. 4). При этом учет первого из указанных показателей выполнен в программе AutoCad с использованием фотографических изображений нативного материала, сделанных в полевых условиях. Подобный подход к сбору и обработке экспериментальных данных, на наш взгляд, является наиболее эффективным, так как позволяет создавать крупные массивы цифровых данных без ущерба для изучаемых растений, поскольку не требует изыятия растительного материала. Кроме того, обеспечивается более высокая точность измерений по сравнению с другими доступными способами (например, с помощью курвиметра).





Сорт 'Hanky Panky'



Сорт 'June'



Сорт 'Revolution'



Сорт 'Super Nova'



Сорт 'Illicit Affair'



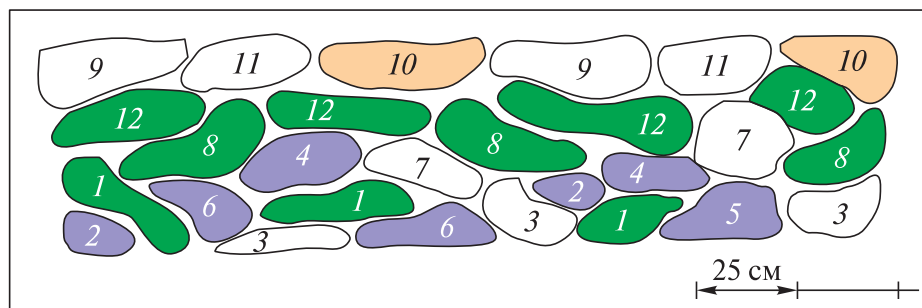


Т а б л и ц а 4

**Вариабельность размера (в процентном отношении) листовой пластинки, занимаемого каждой отдельной окраской, у культиваров рода *Hosta* из коллекции лаборатории декоративных растений ГБС РАН**

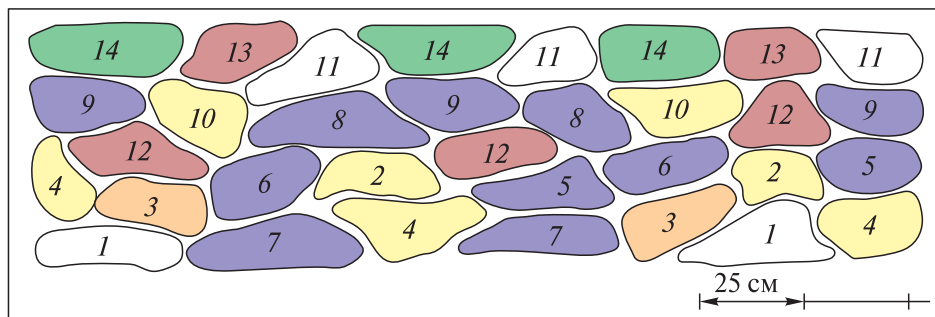
Variability of the size (in percentage terms) of the leaf blade occupied by each individual color in cultivars of the genus *Hosta* from the collection of the laboratory of ornamental plants of the MBG RAS

Окраска	Код окраски по шкале RHS Colour Chart	Площадь, %	Окраска	Код окраски по шкале RHS Colour Chart	Площадь, %
<i>H. undulata</i>			<i>H. x hybrida</i> 'Independence'		
Светло-зеленая	N144A-151A	11	Зеленая	137C	55
Кремовая	157A	42	Светло-зеленая	N144A-151A	3
Темно-зеленая	137B-C	46	Кремовая	157A	32
<i>H. undulata</i> 'Albomarginata'			Серая	138B	10
Зеленая	137C	76,8	<i>H. x hybrida</i> 'Inniswood'		
Светло-зеленая	N144A-151A	0,7	Зеленая	137C	23
Кремовая	157A	15,5	Салатовая	144A	77
Серая	138B	7	<i>H. x hybrida</i> 'Julie Morss'		
<i>H. undulata</i> 'Univittata'			Светло-зеленая	N144A-151A	83
Зеленая	137C	91	Темно-зеленая	137B-C	17
Кремовая	157A	9	<i>H. x hybrida</i> 'June'		
<i>H. x hybrida</i> 'August Beauty'			Зеленая	137C	83
Серо-голубовато-зеленая	N138A-B	86	Светло-зеленая	N144A-151A	17
Светло-серо-зеленая	144A	14	<i>H. x hybrida</i> 'Kiwi Full Monty'		
<i>H. x hybrida</i> 'Brim Cup'			Зеленая	137C	62,7
Серо-зеленая	138B-C	5,7	Кремовая	157A	0,3
Зеленая	137C	45	Желто-зеленая	N144A	37
Светло-зеленая	N144A-151A	1,9	<i>H. x hybrida</i> 'Liberty'		
Желтая	151A-152C	42	Светло-зеленая	N144A-151A	3
Шартрезная	151A	1,3	Серая	138B	8
<i>H. x hybrida</i> 'Cascade Mist'			Желтая	151A-152C	28
Серо-зеленая	138B-C	9	Зелено-голубая	N138A	61
Зеленая	137C	52	<i>H. x hybrida</i> 'Linda Sue'		
Светло-зеленая	N144A-151A	39	Серо-зеленая	138B-C	65
<i>H. x hybrida</i> 'El Nino'			Желтая	151A-152C	35
Серо-зеленая	138B-C	69,4	<i>H. x hybrida</i> 'Revolution'		
Светло-зеленая	N144A-151A	1,3	Зеленая	137C	59
Серая	138B	9,3	Светло-зеленая	N144A-151A	6
Белая	145C-D	20	Кремовая	157A	31
<i>H. x hybrida</i> 'Forest Shadows'			Серая	138B	4
Зеленая	137C	24	<i>H. x hybrida</i> 'Stained Glass'		
Белая	145C-D	66,5	Зеленая	137C	21
Салатовая	144A	9,5	Салатовая	144A	79
<i>H. x hybrida</i> 'Frances Williams'			<i>H. x hybrida</i> 'Super Nova'		
Серо-голубовато-зеленая	N138A-B	31	Светло-зеленая	N144A-151A	37
Серо-зеленая	138B-C	69	Темно-зеленая	137B-C	63
<i>H. x hybrida</i> 'Hanky Panky'			<i>H. x hybrida</i> 'Tango'		
Зеленая	137C	61	Зеленая	137C	86
Светло-желтая	160C	39	Серая	138B	14
<i>H. x hybrida</i> 'Illicit Affair'			<i>H. x hybrida</i> 'Wolverine'		
Зеленая	137C	77	Серо-зеленая	138B-C	67
Светло-зеленая	N144A-151A	23	Кремовая	157A	33



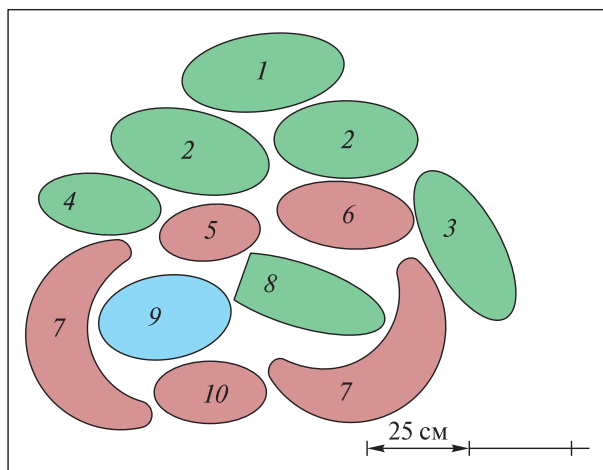
**Рис. 5.** Миксбордер для участков с низким уровнем инсоляции: 1 — *Hosta x hybrida* ‘Julie Morss’; 2 — *Omphalodes verna*; 3 — *Tunica saxifraga*; 4 — *Iris aphylla*; 5 — *Meehania urticifolia*; 6 — *Hepatica nobilis*; 7 — *Saxifraga paniculata*; 8 — *H. x hybrida* ‘Super Nova’; 9 — *Aruncus vulgaris*; 10 — *Astilbe japonica* ‘Elizabeth van Veen’; 11 — *A. chinensis* ‘Cappuccino’; 12 — *Polygonatum odoratum*; 13 — *Adiantum pedatum*

**Fig. 5.** Mixborder for areas with a low level of insolation: 1 — *Hosta x hybrida* ‘Julie Morss’; 2 — *Omphalodes verna*; 3 — *Tunica saxifraga*; 4 — *Iris aphylla*; 5 — *Meehania urticifolia*; 6 — *Hepatica nobilis*; 7 — *Saxifraga paniculata*; 8 — *H. x hybrida* ‘Super Nova’; 9 — *Aruncus vulgaris*; 10 — *Astilbe japonica* ‘Elizabeth van Veen’; 11 — *A. chinensis* ‘Cappuccino’; 12 — *Polygonatum odoratum*; 13 — *Adiantum pedatum*



**Рис. 6.** Миксбордер для участков с высоким уровнем инсоляции: 1 — *Hosta x hybrida* ‘Forest Shadows’; 2 — *H. x hybrida* ‘Hanky Panky’; 3 — *Sedum hybridum*; 4 — *S. kurilense*; 5 — *Iris aphylla*; 7 — *Viola odorata*; 8 — *Hylotelephium spectabile*; 9 — *Salvia nemorosa*; 10 — *Solidago x hybrida* ‘Strahlenkrone’; 11 — *Echinacea purpurea* ‘Greenline’; 12 — *H. x hybrida* ‘Liberty’; 13 — *H. x hybrida* ‘Linda Sue’; 14 — *Panicum virgatum*

**Fig. 6.** Mixborder for areas with a high level of insolation: 1 — *Hosta x hybrida* ‘Forest Shadows’; 2 — *H. x hybrida* ‘Hanky Panky’; 3 — *Sedum hybridum*; 4 — *S. kurilense*; 5 — *Iris aphylla*; 7 — *Viola odorata*; 8 — *Hylotelephium spectabile*; 9 — *Salvia nemorosa*; 10 — *Solidago x hybrida* ‘Strahlenkrone’; 11 — *Echinacea purpurea* ‘Greenline’; 12 — *H. x hybrida* ‘Liberty’; 13 — *H. x hybrida* ‘Linda Sue’; 14 — *Panicum virgatum*



**Рис. 7.** Миксбордер с включением культиваров рода *Hosta* с вариегатной окраской листовой пластинки: 1 — *Hosta x hybrida* ‘August Beauty’; 2 — *H. x hybrida* ‘Frances Williams’; 3 — *H. x hybrida* ‘Cascade Mist’; 4 — *H. undulata* ‘Albomarginata’; 5 — *Astilbe x ardensii*; 6 — *A. chinensis*; 7 — *Epimedium x rubrum*; 8 — *Rodgersia podophylla*; 9 — *Brunnera macrophylla*; 10 — *Pulmonaria rubra*

**Fig. 7.** Mixborder with the inclusion of cultivars of the genus *Hosta* with variegated coloration of the leaf blade: 1 — *Hosta x hybrida* ‘August Beauty’; 2 — *H. x hybrida* ‘Frances Williams’; 3 — *H. x hybrida* ‘Cascade Mist’; 4 — *H. undulata* ‘Albomarginata’; 5 — *Astilbe x ardensii*; 6 — *A. chinensis*; 7 — *Epimedium x rubrum*; 8 — *Rodgersia podophylla*; 9 — *Brunnera macrophylla*; 10 — *Pulmonaria rubra*

Для наиболее затененных участков перспективно использование хост с интенсивной зеленой окраской листьев, поскольку у них предполагается высокая эффективность функционирования фотосинтетического аппарата [21]. В исследуемой выборке наличие зон с темно-зеленой окраской отмечено у трех представителей рода *Hosta*: культиварного вида *H. undulata* и сортов 'Julie Morss' и 'Super Nova' (см. табл. 2). При этом существенные, на 5%-м уровне значимости, статистические различия по площади листьев с темно-зеленой пигментацией выявлены для всех перечисленных культиваров. Однако оптимальными, на наш взгляд, следует считать характеристики сорта 'Super Nova'. Поскольку окраска листовой пластинки состоит из зеленоокрашенных частей у двух сортов — 'Julie Morss', 'Super Nova' (у *H. undulata* 42 % занимает область с кремовой окраской), а доминирование темно-зеленого отмечено только для сорта 'Super Nova'. Тем не менее, возможность эффективного использования культиварного вида *H. undulata* и сорта 'Super Nova' в ландшафтных композициях для слабоосвещенных территорий исключать нельзя.

Ориентируясь на отобранные в рамках исследуемой выборки сорта рода *Hosta*, предлагаем миксбордер, который, по нашему мнению, целесообразно располагать на участках с низким уровнем инсоляции (рис. 5).

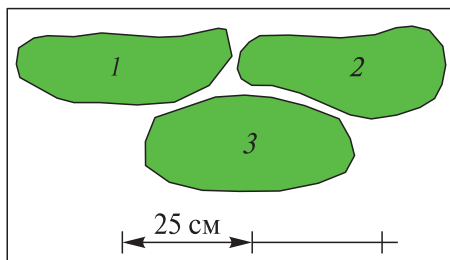
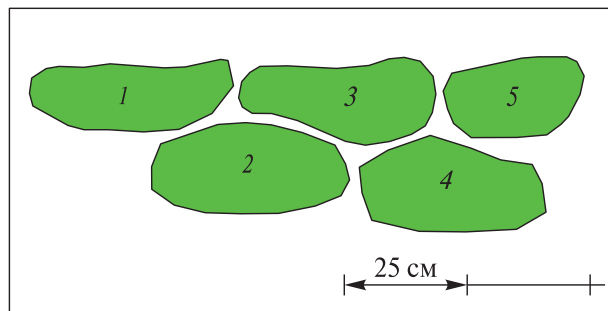
Культивары с большим количеством участков листовой пластинки без хлорофилла или с низкой концентрацией этого пигмента принято считать более светолюбивыми и, соответственно, менее подверженными выгоранию по сравнению с зеленолиственными сортами [21]. Поэтому для озеленения территорий с высокой естественной освещенностью из состава исследованной выборки, на наш взгляд, наиболее целесообразно использование шести сортов — 'Brim Cup', 'El Nino', 'Forest Shadows', 'Hanky Panky', 'Liberty' и 'Linda Sue', у которых отмечено наличие белых и желтых областей (разной степени интенсивности окраски) (см. табл. 2).

В результате дисперсионного анализа полученных экспериментальных данных установлено, что площадь белоокрашенной зоны листовой пластинки сорта 'Forest Shadows' существенно превышает, на 5%-м уровне значимости, площадь таковой сорта 'El Nino'. Существенные, на 5%-м уровне значимости, отличия по площади участков листа с желтой пигментацией также выявлены между культиварами 'Brim Cup', 'Liberty' и 'Linda Sue'. При этом рассматривая процентное соотношение разноокрашенных частей листовой пластинки у указанных выше сортов, отметим, что белая зона доминирует у сорта 'Forest Shadows' — 47 % (у 'El Nino' она составляет 20 %), а жел-

токрашенная область (46,1 %) — у 'Brim Cup' (для 'Linda Sue' этот показатель составляет 35 %, 'Liberty' — 28 %) (см. табл. 3). Поэтому на абсолютные показатели рассматриваемых признаков целесообразно ориентироваться у сортов с белоокрашенными участками листовой пластинки, а на относительные — у желтолистных культиваров. Таким образом, для использования в составе цветочных композиций на участках с высокой естественной освещенностью наиболее перспективными, на наш взгляд, являются сорта 'Forest Shadows', 'Hanky Panky', 'Liberty' и 'Linda Sue'. Основываясь на выборе указанных культиваров рода *Hosta*, предлагаем миксбордер, который можно использовать для оформления различных территорий ландшафтной архитектуры в системе озеленения города на участках с высоким уровнем инсоляции (рис. 6).

Для парков и озелененных территорий микрорайонов можно рекомендовать композиции, в состав которых включены представители рода *Hosta* с вариетатной окраской листовых пластинок. В рамках изученной выборки рассмотрены сорта с зеленоокрашенной центральной частью листа и каймой различной окраски, сгруппированные по колористическим характеристикам (основной окраске). Это серо-голубовато-зеленый — сорта 'August Beauty' и 'Frances Williams', серо-зеленый — 'Brim Cup', 'Cascade Mist', 'Frances Williams', 'El Nino', 'Linda Sue' и 'Wolverine', зеленый — 'Albomarginata', 'Brim Cup', 'Cascade Mist', 'Hanky Panky', 'Illicit Affair', 'Independence', 'June', 'Kiwi Full Monty' и 'Tango', светло-зеленый — 'Albomarginata', 'Brim Cup', 'Cascade Mist', 'El Nino', 'Illicit Affair', 'Independence', 'June' и 'Liberty'. При этом их сравнительная оценка осуществлена на основе дисперсионного анализа количественных характеристик листовой пластинки (площади его центральной части), а в качестве наиболее перспективных выбраны сорта с наибольшей поверхностью зоны листа, содержащей зеленый пигмент (у этих сортов по изучаемому признаку должны быть максимальные значения лимитов).

Значительные отличия между сортами по общей площади зеленоокрашенной зоны листьев выявлены во всех четырех колористических группах (см. табл. 2). В кластере с серо-зеленой окраской центра листовой пластинки сорт 'Frances Williams' существенно превышает, на 5%-м уровне значимости, показатели других исследуемых культиваров; у сортов со светло-зеленой окраской, в частности 'Cascade Mist' (44,3 мм<sup>2</sup>), параметр достоверно выше, чем у других сортов — членов выборочной совокупности. В кластере с зеленой пигментацией у сорта 'Albomarginata' площадь зеленоокрашенной зоны листа существенно выше



других изученных культиваров. Площадь зеленоокрашенной зоны листа характерна для сорта 'August Beauty' (229,8 мм<sup>2</sup>), на 5 %-м уровне значимости, что достоверно выше, чем у сорта 'Frances Williams' (79,8 мм<sup>2</sup>).

Таким образом, по результатам статистической обработки полученных экспериментальным путем данных, для проектирования указанного выше типа цветочных композиций можно рекомендовать четыре сорта: 'Albomarginata' 'August Beauty', 'Cascade Mist' и 'Frances Williams', у которых наличие крупных размеров зеленоокрашенных участков листьев является сортовым признаком, поскольку доля случайных факторов в структуре его общей изменчивости составляет 14 %, 6, 12 и 8 % соответственно. При этом в процентном соотношении разноокрашенных частей листовой пластинки размер зеленоокрашенной зоны является доминирующим у всех указанных сортов, кроме 'Cascade Mist', у которого доля со светло-зеленой окраской листа составляет 39 %, а с зеленой — 52 % (см. табл. 3).

В рамках исследований с помощью указанных выше культиваров разработана очередная ландшафтная композиция (рис. 7).

Для оформления озелененной территории бульваров и скверов целесообразно использование небольших, но эффектных цветочных композиций, в составе которых для создания акцентов предполагается использование культиваров рода *Hosta* с хорошо выраженным рисунком. В рамках изученной выборочной совокупности предлагаем два варианта группировки сортов, различающихся по размерам пигментированных участков.

В рамках первого варианта группировки для статистического анализа использован вариационный ряд из пяти сортов с наличием на поверхности листовой пластинки зеленоокрашенных и

кремовых зон листовой пластинки: 1 — *Hosta undulata* 'Univittata'; 2 — *Hosta undulata*; 3 — *H. undulata* 'Albomarginata'; 4 — *H. x hybrida* 'Independence'; 5 — *H. x hybrida* 'Revolution'

**Fig. 8.** A group using varieties of the genus *Hosta* characterized by variability in the size of green-and cream-colored zones of the leaf blade: 1 — *Hosta undulata* 'Univittata'; 2 — *H. undulata*; 3 — *H. undulata* 'Albomarginata'; 4 — *H. x hybrida* 'Independence'; 5 — *H. x hybrida* 'Revolution'

Рис. 9. Группа с использованием зеленолистных сортов рода *Hosta* с желтоокрашенной каймой: 1 — *Hosta x hybrida* 'Liberty'; 2 — *H. x hybrida* 'Linda Sue'; 3 — *H. x hybrida* 'Brim Cup'

**Fig. 9.** A group using green-leaved varieties of the genus *Hosta* with a yellow-colored border: 1 — *Hosta x hybrida* 'Liberty'; 2 — *H. x hybrida* 'Linda Sue'; 3 — *H. x hybrida* 'Brim Cup'

кремовых зон: культиварного вида *H. undulata* и сортов 'Albomarginata', 'Univittata', 'Independence' и 'Revolution', где культивары расположены в соответствии с площадями, которые занимает кремовая окраска на листовой пластине (от культиваров, у которых кремовый цвет занимает минимальную площадь, до культиваров с кремовым цветом, который преобладает). В ходе исследования установлено, что все указанные выше сорта по общей площади окрашенных кремовым цветом секторов листьев достоверно отличаются между собой, на 5 %-м уровне значимости.

Для реализации второго из предполагаемых вариантов группировки культиваров для статистического анализа использован кластер из трех зеленолистных сортов с наличием желтоокрашенной каймы: 'Brim Cup', 'Liberty' и 'Linda Sue'. Здесь культивары ранжированы по мере снижения размеров площади, занимаемой желтым цветом. При этом существенные, на 5 %-м уровне значимости, статистические различия по этому признаку выявлены между всеми изученными сортами.

Таким образом, предложенные гипотетические варианты распределения сортов для построения ландшафтных композиций, основанные на визуальной оценке фенотипических признаков в полевых условиях, подтверждены инструментальными методами с использованием статистической обработки цифровых экспериментальных данных. Они объективно могут быть рекомендованы к использованию на городских объектах ландшафтной архитектуры, поскольку выявленные отличия в окраске листовых пластин у исследованных сортов обусловлены в большей степени влиянием их генетических особенностей, чем случайных факторов. Поэтому вариация признаков в предложенных последовательностях куль-



тиваров не является случайной. Это обеспечивает высокую вероятность сохранения запланированной колористической структуры цветочных композиций (рис. 8, 9) в ходе эксплуатации объекта.

## Выводы

В ходе проведенных исследований осуществлен отбор перспективных для городского озеленения представителей рода *Hosta* и предложено восемь вариантов цветочных композиций. Установлено, что у всех рекомендованных к использованию хост в структуре изменчивости изученных количественных признаков доминирует влияние генетических особенностей, что обеспечивает высокую вероятность сохранения запланированной структуры цветочных композиций в ходе эксплуатации объекта ландшафтной архитектуры. Для оформления рокария предложены четыре образца — *H. undulata*, ‘Hanky Panky’, ‘Illicit Affair’ и ‘June’. При декорировании среднего и заднего плана цветочных композиций рекомендованы к использованию три сорта: ‘August Beauty’, ‘Frances Williams’ и ‘Liberty’. Как компонент различных типов цветников (группа, миксбордер) предложены две группы сортов с овальными листьями, но разной длиной черешка: с коротким черешком — ‘Brim Cup’ и ‘Revolution’, с длинным — ‘August Beauty’ и ‘Super Nova’. Для декорирования наиболее затененных участков рекомендован сорт ‘Super Nova’, характеризующийся большим размером зоны листовой пластинки с темно-зеленой пигментацией. На участках с высокой естественной освещенностью предложено использование сортов ‘Hanky Panky’, ‘Forest Shadows’, ‘Liberty’, и ‘Linda Sue’ с хорошо выраженными бело- и желтоокрашенными участками листьев. Для парков и озелененных территорий микрорайонов спроектирован вариант композиции с участием культиваров с вариегатной окраской листовых пластинок — ‘Albomarginata’, ‘August Beauty’, ‘Cascade Mist’ и ‘Frances Williams’. В составе небольших, но эффектных цветочных композиций при оформлении озелененной территории бульваров и скверов для создания акцентов отобраны две группы представителей рода *Hosta* с хорошо выраженным рисунком. С наличием на поверхности листовой пластинки зеленоокрашенных и кремовых зон рекомендуются культиварный вид *H. undulata* и сорта ‘Albomarginata’, ‘Univittata’, ‘Independence’ и ‘Revolution’, ранжированные по увеличению площади кремового цвета, и ‘Brim Cup’, ‘Liberty’ и ‘Linda Sue’, ранжированные по снижению площади желтого цвета.

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

## Список литературы

- [1] Вествуд М. Мир находится на пороге шестого массового вымирания видов. Главный портал ботанических садов России. 2021. URL: <https://botsady.ru/interviews/1611662531-merfi-vestvud-mir-nahoditsyana-poroge-shestogo-massovogo-vymiraniya-vidov.html> (дата обращения 30.01.2021).
- [2] Миронова Л.Н., Реут А.А. Коллекции цветочно-декоративных растений ботанического сада как форма экологического воспитания населения // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2017. Т. 26, № 4. С. 253–257.
- [3] Дутова З.В. Особенности формирования концепции развития региональных ботанических садов и ООПТ на примере Перкарльского дендрологического парка БИН РАН (г. Пятигорск) // Hortus botanicus, 2018. Т. 1. С. 632–637. URL: <http://hb.karelia.ru/journal/atricle.php?id=5571> (дата обращения 10.02.2021).
- [4] Кузеванов В.Я., Губий Е.В., Сизых С.В. Ботанические сады как ресурсы для социально-экономического развития // Экология и природопользование, 2010. № 5. С. 313–324.
- [5] Ткаченко К.Г., Ши Л. Общественные и ботанические сады Китая – как центры сохранения и изучения культурного наследия, приоритета экологии на службе улучшения жизни человека // Hortus botanicus, 2018. Т. 1. С. 786–789. URL: <http://hb.karelia.ru/journal/atricle.php?id=5744> (дата обращения 19.12.2020).
- [6] Глобальная стратегия сохранения растений. Ричмонд: Отделение международного совета ботанических садов по охране растений, 2002. 16 с.
- [7] Банаева Ю.А., Доронькин В.М. Роль Центрального сибирского ботанического сада СО РАН в сохранении биоразнообразия и экологическом образовании населения // Охрана природы и образование: на пути к устойчивому развитию: Матер. науч.-практ. конф. «Проблемы и перспективы территориальной охраны природы в Новосибирской области и сопредельных регионах», Новосибирск, 03–05 декабря, 2008 г. Новосибирск: ГЦРО, 2009. С. 61–63.
- [8] Виноградова Ю.К., Хейвуд В., Шаррок С. Кодекс управления инвазионными чужеродными видами растений в ботанических садах стран СНГ. М.: Изд-во Главного ботанического сада им. Н. В. Цицина РАН, 2015. 68 с.
- [9] Чепик Ф.А., Васильев С.В. Многофункциональная значимость ботанических садов // Hortus botanicus, 2018. Т. 1. С. 794–796. URL: <http://hb.karelia.ru/journal/atricle.php?id=5847> (дата обращения 19.12.2020).
- [10] Горбунов Ю.Н. Стратегия ботанических садов России по сохранению биоразнообразия растений. URL: <http://ibpc.ysn.ru/wp-content/uploads/2017/03/СТРАТЕГИЯ-Ботсадов-России.pdf> (дата обращения 12.01.2021).
- [11] Химица Н.И. Хосты. М.: Кладезь-Букс, 2008. 95 с.
- [12] Grenfell D., Shadrack M. The New Encyclopedia of Hostas. Portland: Timber Press, 2009. 472 p.
- [13] Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
- [14] Бочкова И.Ю. Создаем красивый цветник. Принципы подбора растений. Основы проектирования. М.: ЗАО «Фитон+», 2015. 240 с.
- [15] Хохлачева Ю.А. Представители рода *Hosta* L. в коллекции ГБС РАН им. Н.В. Цицина // Цветоводство: традиции и современность. Матер. VI Междунар. науч. конф. Волгоград, Издательский дом «Белгород», 2013. С. 248–252.

- [16] Бумбеева Л.И. Каталог коллекций отдела декоративных растений. Вып. 2000. М.: Алес, 2000. 168 с.
- [17] Боговая И.О., Фурсова Л.М. Ландшафтное искусство. М.: Агропроиздат, 1988. 223 с.
- [18] Карпионова Р.А. Справочник ландшафтного дизайнера и озеленителя. М.: Книжкин Дом; Омега-Л, 2015. 64 с.
- [19] Теодоронский В.С., Боговая И.О. Основы ландшафтной архитектуры. М.: МГУЛ, 2003. 300 с.
- [20] Mehraj H., Kazuhiko Shimasaki Growth, flowering and leaf character variation of hosta // J. of Environmental Science International, 2017, v. 24, iss. 12, pp. 1583–1590.
- [21] Zhang J.Z., Wang W., Sun G.F., Liu, H.Z., Li, X.D. Photosynthesis of Hosta under light and controlled-release nitrogen fertilizer // Russian J. of Plant Physiology, 2011, v. 58, no. 2, pp. 261–270.

## Сведения об авторах

**Хохлачева Юлия Анатольевна** — канд. с.-х. наук, ст. науч. сотр. ФГБУН «Главный ботанический сад имени Н.В. Цицина РАН», jusic-la@yandex.ru

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

**Кузнецова Яна Вячеславовна** — бакалавр Российского государственного аграрного университета — Московской сельскохозяйственной академии имени К.А. Тимирязева, kitik.v.nebe@gmail.com

Поступила в редакцию 31.03.2021.

Принята к публикации 20.05.2021.

## POTENTIAL APPLICATIONS OF SOME VARIETIES OF HOSTA L. FROM COLLECTION OF LABORATORY OF ORNAMENTAL PLANTS OF MAIN BOTANICAL GARDEN RAS ON OBJECTS OF URBAN LANDSCAPE ARCHITECTURE

Yu.A. Khokhlacheva<sup>1</sup>, N.A. Mamaeva<sup>1</sup>, Y.V. Kuznetsova<sup>2</sup>

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

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

jusic-la@yandex.ru

According to one of the modern trends, botanical gardens located within the city limits should be their structural part not only in the territorial, but also in the functional aspect. Therefore, the purpose of the work is a scientifically based selection of representatives of the genus *Hosta* L. from the collection of the laboratory of ornamental plants of the Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences (MBG RAS) — cultivars that are promising for use in urban landscape compositions and the development of various variants of flower compositions. The object of research is a sample of representatives of the genus *Hosta* from the collection of the laboratory of ornamental plants of the MBG RAS, containing 23 names. The composition of the sample population is formed on the basis of taking into account four criteria: 1) stability in culture; 2) belonging of varieties to different garden groups; 3) sufficient prevalence of the variety; 4) high coefficient of vegetative reproduction. Statistical processing of experimental data was carried out in accordance with classical methods using the program «STATISTICA Base». The development of models of flower beds is based on the methods and techniques generally accepted in the design of landscape compositions using the AutoCAD program. In the course of the conducted research, the selection of promising representatives of the genus *Hosta* for urban gardening was carried out and eight variants of flower compositions were proposed (rockery, 2 groups and 5 mixborders). It was found that in all the representatives of the genus *Hosta* recommended for use, the influence of genetic features dominates in the structure of variability of the studied quantitative characteristics, which provides a high probability of preserving the planned structure of flower compositions during the operation of the landscape architecture object.

**Keywords:** *Hosta* L., MBG RAS, landscape architecture, urban landscaping

**Suggested citation:** Khokhlacheva Yu.A., Mamaeva N.A., Kuznetsova Y.V. *Potencial'nye vozmozhnosti primeneniya nekotoryh sortov roda Hosta L. iz kollekcii laboratorii dekorativnykh rasteniy GBS RAN na ob'ektah gorodskoy landshaftnoy arhitektury* [Potential applications of some varieties of *Hosta* L. from collection of Laboratory of ornamental plants of Main Botanical Garden RAS on objects of urban landscape architecture]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 5, pp. 56–73. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-5-56-73

## References

- [1] Vestvud M. *Mir nahoditsya na poroge shestogo massovogo vymiraniya vidov* [The world is on the verge of a sixth mass extinction of species]. Available at: <https://botsady.ru/interviews/1611662531-merfi-vestvud-mir-nahoditsya-na-poroge-shestogo-massovogo-vymiraniya-vidov.html> (accessed 30.01.2021).

- [2] Mironova L.N., Reut A.A. *Kollekcii cvetochno-dekorativnykh rasteniy botanicheskogo sada kak forma ekologicheskogo vospitaniya naseleniya* [Collections of flower and ornamental plants of the botanical garden as a form of ecological education of the population]. Samarskaya Luka: problemy regional'noy i global'noy ekologii [Samara Luka: problems of regional and global ecology], 2017, vol. 26, no. 4, pp. 253–257.
- [3] Dutova Z.V. *Osobennosti formirovaniya koncepcii razvitiya regional'nykh botanicheskikh sadov i OOPT na primere Perkal'skogo dendrologicheskogo parka BIN RAN (g. Pyatigorsk)* [Features of the formation of the concept of development of regional botanical gardens and protected areas on the example of the Perkalsky Dendrological Park of the BIN RAS (Pyatigorsk)]. Hortus botanicus [Hortus botanicus], 2018, v. 1, pp. 632–637. Available at: <http://hb.karelia.ru/journal/atricle.php?id=5571> (accessed 10.02.2021).
- [4] Kuzevanov V.Ya., Gubiy E.V., Sizyh S.V. *Botanicheskie sady kak resursy dlya social'no-ekonomicheskogo razvitiya* [Botanical gardens as resources for socio-economic development]. Ekologiya i prirodopol'zovanie [Ecology and nature management], 2010, no. 5, pp. 313–324.
- [5] Tkachenko K.G., Shi L. *Obshchestvennye i botanicheskie sady Kitaya – kak centry sohraneniya i izucheniya kul'turnogo naslediya, prioriteta ekologii na sluzhbe uluchsheniya zhizni cheloveka* [Public and botanical gardens of China - as centers for the preservation and study of cultural heritage, the priority of ecology in the service of improving human life]. Hortus botanicus [Hortus botanicus], 2018, v. 1, pp. 786–789. Available at: <http://hb.karelia.ru/journal/atricle.php?id=5744> (accessed 19.12.2020).
- [6] *Global'naya strategiya sohraneniya rasteniy* [Global Strategy for Plant Conservation (in Russian)]. Richmond: BGCI, 2002, 16 p.
- [7] Banaeva Yu. A., Doron'kin V.M. *Rol' Central'nogo sibirskogo botanicheskogo sada SO RAN v sohranении bioraznoobraziya i ekologicheskoy obrazovanii naseleniya* [The role of the Central Siberian Botanical Garden SB RAS in the conservation of biodiversity and environmental education of the population]. Ohrana prirody i obrazovanie: na puti k ustoychivomu razvitiyu: Mater. nauch.-prakt. konf. «Problemy i perspektivy territorial'noy ohrany prirody v Novosibirskoy oblasti i sopredel'nykh regionakh» (Novosibirsk, 03–05 dekabrya, 2008 g.) [Nature Protection and Education: on the way to sustainable Development: Material of the scientific and practical Conference «Problems and prospects of territorial nature Protection in the Novosibirsk region and adyacent regions» (Novosibirsk, December 03–05, 2008)]. Novosibirsk, GCRO, 2009, pp. 61–63.
- [8] Vinogradova Yu.K., Heyvud V., SHarrok S. *Kodeks upravleniya invazionnymi chuzherodnymi vidami rasteniy v botanicheskikh sadakh stran SNG* [Code of Management of invasive alien plant species in the Botanical gardens of the CIS countries]. Moscow: Publishing House of the N.V. Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences, 2015, 68 p.
- [9] СНепик F.A., Vasil'ev S.V. *Mnogofunkcional'naya znachimost' botanicheskikh sadov* [Multifunctional significance of botanical gardens]. Hortus botanicus [Hortus botanicus]. 2018, v. 1, pp. 794–796. Available at: <http://hb.karelia.ru/journal/atricle.php?id=5847> (accessed 18.01.2021).
- [10] Gorbunov Yu.N. *Strategiya botanicheskikh sadov Rossii po sohraneniyu bioraznoobraziya rasteniy* [Strategy of Botanical Gardens of Russia for the conservation of plant biodiversity]. Institut biologicheskikh problem kriolitozony Sibirskogo otdeleniya RAN [Institute of Biological Problems of the Cryolithozone of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences], 2003. Available at: <http://ibpc.ysn.ru/wp-content/uploads/2017/03/СТРАТЕГИЯ-Ботсадов-России.pdf> (accessed 12.01.2021).
- [11] Himina N.I. *Hosty* [Hosta]. Moscow: Kladez-Buks, 2008, 95 p.
- [12] Grenfell D., Shadrack M. *The New Encyclopedia of Hostas*. Portland: Timber Press, 2009, 472 p.
- [13] Dospekhov B. A. *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy)* [Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results)]. Moscow: Agropromizdat, 1985, 351 p.
- [14] Bochkova I.Yu. *Sozdaem stil'nyy tsvetnik. Principy podbora rasteniy. Osnovy proektirovaniya* [Creating a stylish flower garden. Principles of plant selection. Design basics]. Moscow: Phytion+, 2015, 240 p.
- [15] Hohlicheva YU.A. *Predstaviteli roda Hosta L. v kollekcii GBS RAN im. N.V. Cicina* [Representatives of the genus Hosta L. in the collection of the MBG RAS named after N.V. Tsitsin]. Cvetovodstvo: tradicii i sovremennost'. Mater. VI Mezhdunar. nauch. konf. [Floriculture: traditions and modernity. Proceedings of the VI International Scientific Conference]. Volgograd: Publ. House «Belgorod», 2013, pp. 248–252.
- [16] *Katalog kollekciiy otdela dekorativnykh rasteniy* [Catalog of collections of the department of ornamental plants]. Moscow: Ales, 2000, iss. 2000, 168 p.
- [17] Bogovaya I.O., Fursova L.M. *Landshaftnoe iskusstvo* [Landscape art]. Moscow: Agropromizdat, 1988, 223 p.
- [18] *Spravochnik landshaftnogo dizaynera i ozelenitelya* [Handbook of landscape designers and gardeners]. Moscow: Knizhkin Dom; Omega-L, 2015, 64 p.
- [19] Teodoronskiy V.S., Bogovaya I.O. *Osnovy landshaftnoy arhitektury* [Fundamentals of landscape architecture]. Moscow: MSFU, 2003, 300 p.
- [20] Mehraj H., Kazuhiko Shimasaki Growth, flowering and leaf character variation of hosta. J. of Environmental Science International. 2017, v. 24, iss. 12. pp. 1583–1590.
- [21] Zhang J.Z., Wang W., Sun G.F., Liu H.Z., Li X.D. Photosynthesis of Hosta under light and controlled-release nitrogen fertilizer. Russian J. of Plant Physiology. 2011, v. 58, no. 2, pp. 261–270.

## Authors' information

**Khokhlacheva Yuliya Anatol'yevna** — Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher of the N.V. Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences, [jusic-la@yandex.ru](mailto:jusic-la@yandex.ru)

**Mamaeva Natal'ya Anatol'yevna** — Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher of the N.V. Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences, [mamaeva\\_n@list.ru](mailto:mamaeva_n@list.ru)

**Kuznetsova Yana Vyacheslavovna** — Bachelor of Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, [kitik.v.nebe@gmail.com](mailto:kitik.v.nebe@gmail.com)

Received 31.03.2021.

Accepted for publication 20.05.2021.



## СОСТОЯНИЕ ПРИРОДНЫХ ЛАНДШАФТОВ КРЕСТЬЯНСКОЙ УСАДЬБЫ В ДЕРЕВНЕ АСТАШОВО КОСТРОМСКОЙ ОБЛАСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ РАЗВИТИЯ

**В.А. Леонова**, А.И. Куликова, Л.А. Тарасова

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

leonovava@bk.ru

Представлена историческая справка о деревне Асташово и владельце крестьянской усадьбы М. Сазонове. Дана подробная информация об особенностях деревянного зодчества русского архитектора И.П. Ропета (Петров Иван Николаевич, 1845–1908), по эскизам и чертежам которого был построен терем в деревне Асташово (Осташево). Приведены результаты ландшафтного анализа территории, прилегающей к терему, бывшей деревни Осташево. Представлены данные инвентаризации древесных насаждений и их ассортимент. Особое внимание уделено поляне — месту, где располагалась деревня, и травянистым растениям, образующим луг. Рассмотрены два варианта улучшения травяного покрова поляны около отреставрированного терема, приводится обоснование выбранных вариантов.

**Ключевые слова:** Чухлома, деревня Асташово (Осташево), Мартьян Сазонов, деревянный терем, модерн, поляна, травяной покров

**Ссылка для цитирования:** Леонова В.А., Куликова А.И., Тарасова Л.А. Состояние природных ландшафтов крестьянской усадьбы в деревне Асташово Костромской области и перспективы их развития // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 5. С. 74–84. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-5-74-84

Во всем мире особое внимание уделяется сохранению национальных ландшафтов, к которым в настоящее время можно отнести сохранившиеся провинциальные усадьбы — живое воплощение культурных традиций нашего народа. Среди них крестьянские усадьбы — очень редкое явление, особенно если их территории прилегают к объекту культурного наследия (ОКН) регионального значения. Именно поэтому усадьба в деревне Асташово (Осташево) привлекла наше внимание для исследования.

Усадьба — это не только элемент феодальной культуры, но и одна из самых существенных и неотъемлемых особенностей жизни и быта людей на протяжении всей русской истории. В советский период усадьбу стали называть архитектурным ансамблем, и в этом качестве ее рассматривают история русского искусства и история русской архитектуры [1].

Усадьбы имеют свои судьбы, но, в отличие от человеческих, более протяженны во времени, обладают способностью к возрождению, могут быть восстановленными из руин и заново служить людям, воплощая красоту и гармонию человека с природой [2]. Тихие провинциальные усадьбы, отраженные в произведениях великих русских классиков А.С. Пушкина, И.С. Тургенева, А.П. Чехова, которые составляли практически всю Россию, были местом отдыха и свободы дворянства [3]. Особое внимание на природу и ландшафт обращали уже в Древней Руси, высоко оценивая естественную красоту пейзажа, и соподчиняли его с соборами, монастырями или городами [4]. Такой подход сохранился и в дальнейшем, при

освоении новых природных пространств и образования различных поселений.

Сохранение провинциальной русской усадьбы, как элемента политической, экономической и культурной жизни дореволюционной России — актуальная проблема в сфере охраны культурного наследия, поскольку именно усадьбы определяют национальный облик и аутентичность России в мировом масштабе как живое воплощение русских культурных традиций.

### Цель работы

Цель работы — изучение истории крестьянской усадьбы, ее природного окружения и разработка концепции по приспособлению территории ОКН к современному использованию.

В соответствии с поставленной целью были сформулированы следующие задачи: проведение анализа рельефа местности; оценка состояния древесных насаждений и определение видового состава луговых трав, разработка концепции развития природного ландшафта в соответствии с художественным образом отреставрированного терема.

### Историческая справка

Деревня Асташово числилась приходской при храме села Озерки. До Великой Отечественной войны деревня насчитывала 27 дворов. Первое упоминание деревни встречается в материалах переписи населения в 1615 г. Поселок относился тогда к Введенской (Алешковской) волости, о чем указано в сельскохозяйственной переписи 1916 г. [1].

Усадьба в деревне Асташово бывшего Чухломского уезда Костромской губернии принадлежала крестьянину-отходнику и уроженцу этой деревни — Мартьяну Сазонтовичу Сазонову (1842–1914). Мартьян (Маркиан, Мартиан, Мартиниан) — старший сын Сазонта Маркова и Екатерины Авдиевой — принадлежал к числу государственных крестьян деревни Асташово. Точная дата рождения его отца Сазонта неизвестна, предположительно 1820 или 1825 г., а известна дата смерти — 4 апреля 1885 г. [2]. Также известно, что его мать Екатерина умерла в возрасте 47 лет 16 июня 1868 г. от чахотки [3].

Когда Мартьян вырос, он уехал на заработки в Санкт-Петербург. Следом за ним уехала и старшая сестра Анастасия, которая устроилась горничной к фабриканту. Вскоре хозяин умер у нее на руках. Незадолго до этого она увидела, как он убирал в ящик, какие-то бумаги. Она спрятала их в фартук и принесла старшему брату Мартьяну. Отсюда пошла молва о том, что после смерти хозяина его сестры Анастасии у Мартьяна дела пошли в гору.

Мартьян Сазонов получил редкую профессию столяра-краснодеревщика и продолжил работать в Санкт-Петербурге, но время от времени он бывал на родине. Единственным подтверждением этому является выписка из метрической книги Воскресенской Малоколоменской церкви Санкт-Петербурга, в которой указано о рождении младенца Александра (22 ноября 1882 г.) и его крещении воспитанником из той же губернии и уезда Алешковской волости д. Асташово крестьянином Мартьяном Сазоновым [4].

В 1862 г. Мартьян женился на Анне Андреевне из деревни Филилеево, неподалеку от д. Асташово. К тому времени Мартьян уже был состоятельным, разбогатев на строительных подрядах, и имел собственные фабрики. Много денег он тратил на общественные нужды. В феврале 1894 г. в возрасте 52 лет от сыпного тифа умерла его жена. В ноябре того же года его супругой стала Елизавета Алексеевна Добровольская. Она была дочерью дьяка церкви Ильи пророка в селе Ильинском. Местное предание гласит, что дом-терем, который стал центром усадьбы, был построен для нее. Точная дата постройки терема неизвестна, поскольку порядок строительства в деревнях документально не подтверждался.

Терем — уникальный, редкого типа постройки для Костромской обл., имеет усложненную, объемно-пространственную композицию несимметричного типа, сооружен в стиле развитого модерна, который гармонично сочетается с резным декором, являющимся широко известным элементом русского деревянного зодчества.

Основой его объемного построения является прямоугольный сруб, вытянутый по оси восток —



Рис. 1. Вид на усадьбу и терем в деревне Асташово в начале XX в. (1908 г.)

Fig. 1. View of the estate and the tower at the beginning of the 20th century (1908)

запад. Западный фасад выделен в центре крупным ризалитом, над которым эффективно возвышается своеобразная светелка-теремок с балконом. Балкон светелки имеет двускатное покрытие на резных столбиках, дополненное изящным килевидным аттиком с резным навершием. На высоком шпиле — огромное декоративное колесо, обшитое листами позолоты, искрящееся на закате солнца (искры даже были видны в соседних деревнях). По вечерам в башенке горел светильник. Над юго-западным углом возвышается ярусная башня, увенчанная невысоким шпилем, а над ризалитом в центре южного фасада нависает граненый эркер [5].

Внешний вид терема натолкнул специалистов, изучавших его архитектуру, на мысль, что за основу был взят один из проектов загородного дома русского архитектора И.П. Ропета, опубликованный в 70-х годах XIX в. в журнале «Мотивы русской архитектуры», предназначенный для потенциальных заказчиков. Журнал содержал проекты и эскизы зданий, мебели, утвари, стилизованные под древнерусскую народную архитектуру. В период 1875–1879 гг. эскизы И.П. Ропета регулярно публиковали в этом журнале.

Каким образом проект попал к Мартьяну Сазонову неизвестно, но в документах конца XIX — начала XX вв. говорится о том, что костромские плотники направлялись в Париж, где проходила выставка Ропета [6, 7]. Мартьян Сазонович был чухломским крестьянином-отходником, поэтому теоретически мог оказаться в Париже и ознакомиться с работами архитектора. Спустя два десятилетия М.С. Сазонов построил свой терем в д. Асташово. Очевидно, он скопировал общий силуэт, членение и разнообразные детали: резной декор, выдвинутый вперед балкон, двухъярусную башню со шпилем и золоченым ободом (рис. 1).

Изучение особенностей терема в ходе реставрации привело к мысли о том, что Сазонов строил дом сам, без профессионального архитектора. Так, кровля дома переделывалась прямо по ходу строительства, у парадного крыльца не было теплых сеней, и в доме не было ни одного туалета, хотя туалеты в то время уже были нормой для петербургских загородных домов. Так или иначе, терем в д. Асташово — уникален: парадная резиденция, выстроенная в «русском стиле» посреди жилой маленькой деревни в глухом месте [5].

В статье Т. Байковой рассмотрено убранство терема: «Рамы в окнах крепились и открывались внутрь, а система отопления в доме сделана уникально. Печи большие, в красивых изразцах, а круглые обложены гофрированным железом. Дымоходы шли вдоль стен, под полом, по потолку... Окна в верандах и светелке украшали цветные стеклянные витражи и стекла с травленным матовым рисунком» (Дом Сазоновых // Вперед, 2002, 28.05.2002).

Перед домом был вырыт большой пруд, в котором в ясную погоду красиво отражался терем. (Наличие прудов возле каждого дома было отмечено не только в этой деревне, но и в Филилееве. Пруды имели первостепенное значение, так как служили для полива и водопоя скотины). Большой пруд был огорожен изгородью из еловых жердей (тын). Местные жители рассказывают о плавающих в пруде лебедях. На фотографии 1908 г. просматривается рядовая посадка, возможно, стриженные липы, расположенная параллельно западному фасаду дома. В литературе есть упоминание и о наличии фруктового сада.

Последние годы жизни Мартьян провел в доме сына. В возрасте 72 лет, будучи совсем слепым, он умер. Имуущество в разных долях он завещал своим детям и внукам. Вдову Елизавету Алексеевну выселили после революции в 1917 г., так как дом был национализирован, и она жила со своим братом и его женой в селе Ильинском. В «Похохозяйственной книге» села Ильинского «Хозяйство № 8», за 1948 г. против фамилии Сазонова Е.А. сделана карандашная запись «выбыла в дом инвалидов в августе 1948 г.» [8].

В годы Великой Отечественной войны в доме Сазоновых разместили правление колхоза «Новая деревня», затем администрацию Ильинского сельского совета, избу-читальню, медицинский пункт, Ильинское почтовое отделение. Точная дата выселения вышеперечисленных структур не найдена. В 1974–1975 гг. организации выехали из дома. Терем оказался заброшенным.

В начале 1980-х гг. деревня полностью вымерла. Многие дома были вывезены местными жителями в ближайшие крупные поселения — леспромхозы в Введенском и Якше. Однако терем был огромен для перевозки, поэтому и остался в опустевшей

деревне. После того как разграбили оконные рамы и разбили изразцовые печи, дом начал быстро разрушаться. Окружающая территория заросла густой порослью осин, берез и тополей [9].

## Материалы и методы исследования

Исследование проводилось в несколько этапов: 1) историко-архивная экспертиза (по общепринятому методу); 2) натурные обследования (ландшафтный анализ по Боговой И.О. и Фурсовой Л.М.); 3) графо-аналитический метод.

*На первом этапе* историко-архивные и библиографические изыскания включали в себя сбор исторической информации (планов, карт, фотографий) для воссоздания первоначального облика крестьянской усадьбы. Поиск информации осуществлялся в следующих организациях: Государственный институт искусствознания, Государственный исторический музей, Государственный научно-исследовательский музей архитектуры имени А.В. Щусева, Российский научно-исследовательский институт культурного и природного наследия имени Д.С. Лихачева, Российский государственный архив древних актов, Российская государственная библиотека.

*На втором этапе* проводили натурное обследование по методу ландшафтного анализа: ознакомление с особенностями существующих зданий и сооружений на территории усадьбы, определение их функционального назначения, изучение рельефа и положения объекта исследования, проведение инвентаризации древесной растительности (по методике Академии коммунального хозяйства имени К.Д. Памфилова), определение ассортимента травянистой растительности.

*На третьем этапе* составляли перечетные ведомости, наносили деревья на топоплан в масштабе 1:500 и подготовили эскизные варианты с расчетом посадочного материала.

## Результаты и обсуждение

**Современное состояние терема и деревни Асташово (Осташево).** В 2005 г. предприниматель Андрей Павличенков выкупил терем и начал реставрационно-восстановительные работы. Вокруг терема территория была расчищена от молодняка, разобран мусор, сделаны обмеры и фотофиксация. К дому отсыпана дорога длиной 2 км и подведено электричество [10].

Сруб был разобран и вывезен в Кириллов, под Вологдой, где в реставрационной мастерской А. Попова с 2011 по 2017 гг. он был восстановлен методом переборки. Удалось сохранить более 60 % подлинной конструкции, остальные детали, в частности обшивка, окраска, полы, штукатурка, печки, двери, воссозданы с максимальной достоверностью и близостью к оригиналу.



Реставрация терема как объекта культурного наследия и ее автор Андрей Павличенков в 2015 г. на XII Грантовом конкурсе «Меняющийся музей в меняющемся мире» (фонд В. Потанина) в номинации «музейный старт» заслуженно получил первое место. С 2016 г. в тереме открылась первая в России гостиница-музей, которая активно развивается в настоящее время (рис. 2) [11–15].

Удачно отреставрированный терем дает нам редкую возможность окультурить природный ландшафт вокруг него, а заодно и всей территории деревни Асташово. Именно в подходе понимания роли озелененной территории вокруг терема, кроется, с одной стороны, сложность, а с другой — возможность раскрытия и понимания исторической роли и уникальности русского ландшафта как части природно-культурного наследия нашего народа.

Учитывая, что терем в д. Асташово представляет собой не только художественную и историческую ценность, но и является артефактом русского деревянного зодчества второй половины XIX — начала XX вв., он определяет и подходы к освоению и приспособлению пространства вокруг него в современных условиях. К сожалению, люди, владеющие или арендующие ОКН, мало интересуются научными подходами сохранения природно-культурного ландшафта. Как правило, собственник сам определяет, иногда навязывает, свои вкусы в отношении современного дизайна исторических ландшафтов.

Именно на это обращает внимание Ю.А. Веденин: «Развитие исторического сельского пространства нередко входит в противоречие с требованиями сохранения наследия. Об этом свидетельствует застройка исторических деревень или открытых пространств, имеющих мемориальное и историческое значение» [16].

Реставрируя и вкладывая огромные финансы в уникальные объекты русского деревянного зодчества, необходимо помнить, что для России всегда было характерно слияние архитектуры и окружающего пространства. И для создания образа исторического природно-культурного ландшафта XIX века деревни Асташово необходимо найти достойное решение развития существующего ландшафта бывшей деревни и сохранения его характерных особенностей, которые бы гармонизировали с деревянным теремом [17].

**Рельеф деревни Асташово.** Сведения о рельефе д. Асташово отсутствуют. Но из ландшафтоведения известно, что рельеф образует жесткий каркас и является наиболее устойчивым природным компонентом [18]. История деревни Асташово и ее запущенные ландшафты дают нам основания считать, что ее рельеф, вряд ли, изменился за последние 100 лет.



а



б

Рис. 2. Заброшенный (2000 г., а) и отреставрированный (б) терем в деревне Асташово (2018 г.)

Fig. 2. Derelict (2000, а) and restored tower (б) in the village of Astashovo (2018)

В настоящее время визуально территория деревни Асташово воспринимается как ровная с небольшим уклоном на юг. Анализ рельефа показал, что терем располагается на вершине холма, а бывшая деревня — в отметках: от 181 до 189 м н. у. м., то есть перепад высот составлял 7 м. Он наиболее остро ощущается в южной и западной частях *поляны* (так мы условно назвали открытое пространство бывшей деревни). В северо-восточной части большое количество микропонижений,



Рис. 3. Нынешнее положение территории деревни Асташово  
 Fig. 3. The current territory of the village of Astashovo

возможно, ранней весной в них скапливались излишки поверхностных вод, и в дальнейшем их использовали для водопоя домашнего скота (рис. 3).

Терем расположен практически в центре восточного участка деревни и разделяет ее территорию на две части: северную и южную. Северная

(или въездная) часть наполовину облесена, южная и центральная — представляют собой луг, на который приходится более 85 % всей озелененной территории.

Ассортимент луговых трав, произрастающих на территории усадьбы, очень разнообразен:



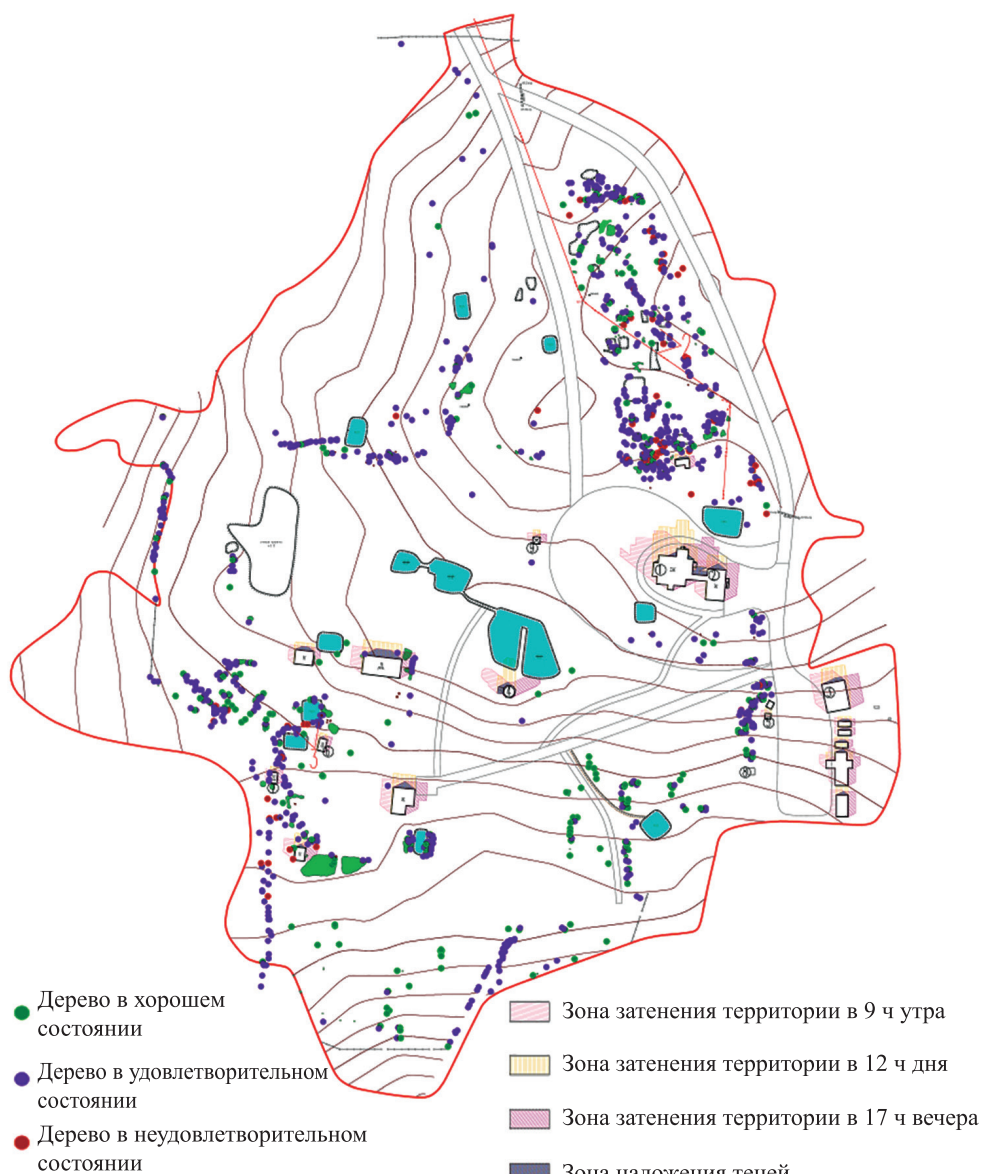


Рис. 4. План инвентаризации или состояние древесной растительности деревни Асташово  
 Fig. 4. Inventory plan or state of woody vegetation in the village of Astashovo

тысячелистник обыкновенный, мышиный горошек, колокольчик раскидистый, манжетка обыкновенная, ежа сборная, крапива обыкновенная, лапчатка ползучая, кульбаба осенняя, хвощ полевой, фиалка лесная, клевер красный, дудник лесной, зверобой продырявленный, мятлик луговой, овсяница луговая, василек луговой, бодяк обыкновенный, будра плющевидная, полевица тонкая, ясменник серпоплодный, калужница европейская, горошек болотный, смолка клейкая.

**Современное положение территории бывшей деревни Асташово.** Терем и крестьянская усадьба территориально расположены на юго-востоке Чухломского района Костромской обл. В настоящее время его называют *Лесной терем в Асташово*. Деревня Асташово — это

типичная глубинка европейской части России. Она расположена в 200 км от Костромы, 280 км от Ярославля, 310 км от Вологды, 520 км от Москвы, 950 км от Санкт-Петербурга. Усадьбу окружают густые смешанные леса и опустевшие деревни.

Въезд на территорию деревни Асташово осуществляется с севера, со стороны бывшей д. Филлиеево. При въезде главная дорога идет прямо, а сопредельная — уходит влево. Дорога проходит по центру территории бывшей деревни до песчаной площадки вокруг терема, к нему прилегают гостевая и хозяйственная зоны.

В настоящее время территория усадьбы имеет сложную форму и ее площадь составляет 9,7 га. На ней находится 13 прудов. Главный пруд расположен перед западной частью дома, в водной



глади отражается не только терем, но и расположенная с южной стороны часовня. В юго-западной части находятся одно жилое строение, две бани, а также сохранившиеся деревенские постройки, которые пока еще выполняют хозяйственную функцию.

Терем окружен периметральной дорогой, имеющей ширину 3 м, со стороны дома управляющего дорожка переходит в грунтовую площадку. Верхнее покрытие дорожки — мелкофракционный гравий. Параллельно восточной части дома управляющего установлен газгольдер, который подает газ в терем.

Современный баланс территории деревни Асташово имеет следующий вид: здания и сооружения составляют 0,9 %, дорожно-тропиночная сеть — 14,4, водоемы — 1,9, озелененная территория — 82,0 %. Таким образом, *в настоящее время природно-культурный ландшафт около терема несет в себе образ естественного леса и луга, что характерно для европейской части России.*

**Анализ древесных насаждений.** В настоящее время на территории бывшей деревни Асташово произрастает 1371 дерево и 453 кустарника, т. е. происходит активный естественный процесс заращения открытого пространства (рис. 4).

Древесные насаждения представлены 13 видами. К основному ассортименту деревьев можно отнести *иву козью* и *березу повислую*, которые составляют более 50 % общего количества деревьев. На *ель обыкновенную* и *сосну обыкновенную* приходится более 13 %, а на плодовые (*вишню*, *сливу* и *яблоню*) — более 3,5 %, остальные лиственные виды занимают более 30 %. На территории произрастает 8 видов кустарников, среди них доминируют *спирея иволистная* (66 %), *смородина черная* и *красная* занимают территорию в 17,5 %.

В ходе инвентаризации также выявлено, что в хорошем состоянии (без дефектов) находится 16,4 % всех деревьев (на карте-схеме обозначены зеленым цветом, см. рис. 4), в удовлетворительном — 71,6 (фиолетовый цвет), в неудовлетворительном всего 44 дерева (красный цвет), 12 % из них приходится на пни (рис. 4).

**Поиск композиционного решения.** В настоящее время часть территории усадьбы приобретена и принадлежит собственнику, часть земли взята в аренду, а по оставшейся территории решается вопрос о присоединении. Терем планируется использовать тремя способами: как объект музейной деятельности; как памятник культурного наследия; как мини-гостиницу для туристов, интересующихся архитектурой и бытом русского крестьянства. Открытое пространство бывшей деревни — (поляна) как территория усадьбы Мартьяна Сазонова должны соответствовать указанным функциям.

Для восстановления художественного образа исторического и природно-культурного ландшафта конца XIX — начала XX вв. около терема, сохраняющего в себе черты русского деревянного зодчества и усадебного строительства, есть только два направления:

1) восстановление этнодеревни Асташово как особого вида туризма, создание в ней плодового сада как элемента крестьянской усадьбы и деревенской жизни;

2) создание образа лесного терема, но без плодового сада и модульных цветников с современным цветочным ассортиментом, что будет противоречить обозначенной концепции восстановления этнодеревни.

Культурный ландшафт во всем мире рассматривается как часть историко-культурного наследия страны, а сохранению национальных ландшафтов уделяется особое внимание [17], поэтому для приспособления исторического природно-культурного ландшафта около деревянного терема требуются особые знания и умения, в том числе бережное отношение. *Ландшафтный дизайн с распространенными городскими приемами и избитым современным ассортиментом древесных и цветочных растений здесь неуместен.*

Поскольку идея этнодеревни собственником была отвергнута, то *поиск композиционного решения* проводился нами по второму направлению, с учетом *существующего природного ландшафта, характерного для Чухломского района Костромской обл. Отсюда следует, что его можно отнести к категории национального ландшафта, который должен стать фоном восприятия отреставрированного терема как уникального произведения деревянного зодчества севера европейской части России.*

**Первый вариант поиска композиционного решения.** Мы руководствовались тем, что при посещении старинных или усадебных парков, как правило, больше внимания уделяем архитектурным памятникам (в данном случае терему), а общее восприятие ландшафта, иногда крупные пейзажные формы (поляна) приобретают второстепенное значение. Очень редко учитываются травяной покров и отдельные виды растений. Однако они заслуживают не меньшего внимания, чем архитектура и садовая скульптура [19]. Нельзя увидеть красоту луга, не видя красоты трав. Поэтому нашей целью стало улучшение травянистой растительности, способной раскрыть красоту и разнообразие луговых пространств России, гармонию микрорельефа поляны в сочетании с различной фактурой травянистой растительности и лесной опушки.

*Дорожно-тропиночная сеть задумана как кольцевая — по периметру поляны, вдоль которой предусмотрены крупные включения (за счет*

подсева или досадки) естественной злаковой растительности для придания открытому луговому пространству выразительности и увеличения площади сообщества трав, имеющих более рельефный контраст формы куста, фактуры и цвета листьев.

Прогулочный маршрут задуман таким образом, чтобы во время движения можно было обойти всю поляну по кругу (вдоль опушки леса), а также выйти в основные центральные зоны. Рисунок дорожно-тропиночной сети был разбит с учетом наиболее интересных видовых точек поляны, с которых во время движения открываются наиболее интересные пейзажи русского леса в сочетании с лугом. Ассортимент луговой растительности для ремонта травянистого покрова выбран из местных видов (рис. 5).

Наиболее интересные места поляны обыгрываются крупными по площади травянистыми композициями, образующими большие фактурные пятна. Например, у пруда возле часовни предусмотрены включения манжетки обыкновенной и щавеля кислого (используется контраст округлой листовой пластинки с волнистым краем манжетки с удлиненными листьями щавеля), которые совместно придадут полянке желто-зеленый окрас. Участок поляны, расположенный у северной части дома, дополняется манжеткой обыкновенной и вертикальным лисохвостом, южный участок поляны — манжеткой обыкновенной, геранью лесной и щавелем кислым (контраст плотной и рыхлой лисы манжетки и цветущей герани на фоне щавеля). Контраст зеленого покрова красиво «играет» в лучах заходящего солнца и служит прекрасным фоном для восприятия терема с разных видовых точек поляны.

Травянистый покров центральной части поляны планируется обогатить двухкосточником тростниковым, вейником наземным и перловником поникающим. Яркие темно-зеленые пятна подсеваются мятликом луговым. Таким образом, основное внимание сосредотачивается на улучшении травянистого покрова луга как неотъемлемой части национального русского ландшафта, который подчеркивает рельеф открытого посреди леса пространства и его доминанту — терем.

**Второй вариант композиционного решения** основан на другой идее, характерной для усадеб: «Каждый старинный парк, несмотря на свою типичность, имеет какую-то характерную, только ему присущую отличительную черту. И эта особенность в усадьбе Ершово, спрятавшейся вдали от Москвы-реки, незабудки. Здесь такое количество этих цветов, что луга и куртины парка вокруг дома кажутся покрытыми сплошным голубым ковром» [20]. На наш взгляд, данный старинный прием уместен и для поляны бывшей деревни Асташово (рис. 6).



Рис. 5. Композиционное решение для поляны в бывшей деревне Асташово (вариант 1)

Fig. 5. Formula of a glade in the former village of Astashovo (option 1)



a



b

Рис. 6. Композиционное решение для поляны в бывшей деревне Асташово (вариант 2): а — видовая точка на сохранившееся строение с оформлением поляны клевером луговым; б — вид из современной постройки на сохранившийся пруд, оформленный незабудкой полевой

Fig. 6. Formula of a glade in the former village of Astashovo (option 2): a — viewpoint on the preserved building with glade clover; b — a view from a modern building to a preserved pond, with field scorpion grass



Поэтому предусматривается улучшение луговой растительности и создание мягкого рисунка дорожно-тропиночной сети, с изгибами которой открываются видовые точки на большую поляну, раскрывающую красоту цветущего луга. Ремонт луга предусматривает включение цветочных пятен различных **цветущих травянистых растений**, характерных для Костромской обл. *Дорожно-тропиночная сеть устроена по принципу циклического движения. Дорожки, пересекаясь одна с другой, задают взаимосвязанную траекторию движения, которая, в свою очередь, разделяет территорию луга на слегка заметные террасы, на которых заметен перепад высот и изменяется ассортимент цветущей в течение всего лета травянистой растительности* (см. рис. 6).

Дорожно-тропиночную сеть планируется выполнить из **гранитных высевок или щебенки**. Дорожки шириной от 3 до 5 м рассчитаны на движение автомобильного транспорта со средней нагрузкой на покрытие.

Входную древесную группу, расположенную с северо-восточной стороны поляны, предполагается подбить *незабудкой лесной*, участок лесного луга оформить *примулой лесной*. В центральной части террасы планируется дополнить розово-фиолетовым пятном, которое образует *сочевичник весенний*. В луговые микропонижения можно высадить *ирис болотный*. Северная часть поляны оформляется *чиной луговой*, а луговая терраса, расположенная на западе, — белыми вкраплениями *клевера ползучего*.

Южная луговая терраса и ее основание подчеркиваются желто-оранжевыми пятнами из *купальницы европейской* и *жарков*. Лесную зону планируется оформить *незабудкой полевой* в комбинации с *тысячелистником обыкновенным*. В северную часть лесной зоны предполагается посадить *клевер луговой* и *короставник полевой*, юго-западную, западную и северо-западную части поляны — оформить пятнами из цветущих луговых трав: желтыми — из *лапчатки гусиной*, голубыми — *незабудки полевой*, белыми — *клевера ползучего*, розовыми пятнами — из *клевера лугового*.

## Выводы

Проанализирована древесная растительность поляны и определен ее ассортимент. Разработаны предложения по улучшению качества травянистого покрова поляны с помощью местных видов, распространенных в Чухломском районе Костромской обл. В данном случае главная задача специалиста состояла в том, чтобы не нарушить равновесие, а создать гармонию между архитектурными шедеврами, созданными человеком

и природной средой. Предложены два варианта композиционного решения по объекту: 1) на основе контраста фактуры оттенков и окраски трав; 2) активном использовании цветущих трав и формировании из них больших цветочных пятен в период цветения.

## Список литературы

- [1] Нашокина М.В. Актуальные проблемы изучения русской усадьбы // Русская усадьба, 2008. Вып. 13–14 (29–30). С. 7–16.
- [2] Глаголева О.Е. Жизнь провинциальной усадьбы: усадьба Никольское на Упе Одоевского уезда Тульской губернии // Русская усадьба, 2019. Вып. 25 (41). С. 316–333.
- [3] Попова Г.С. Усадебный сад Русской провинции. Сады и парки. Энциклопедия стиля // XXV Царскосельская науч. конф. Сб. науч. ст., II ч. СПб.: Серебряный век, 2019. С. 122–132.
- [4] Лихачев Д. Поэзия садов. М.: КоЛибри, 2018. С. 60–61.
- [5] Сельскохозяйственная перепись 1916 г. в Костромской губернии. Вып. 10-й. Солигаличский, Чухломский и Юрьевецкий уезды (краткие сведения по селениям). Кострома: Типография Губернской муниципальной коллегии, 1918. С. 12–13.
- [6] Метрические книги о рождении, бракосочетании и смерти прихожан Ризположенской церкви с. Озерки Чухломского уезда. ГАКО. Ф. 56. Оп. 25. Д. 188. Л. 16 об., 1885–1893 гг.
- [7] Метрические книги о рождении, бракосочетании и смерти прихожан Ризположенской церкви с. Озерки Чухломского уезда. ГАКО. Ф. 56. Оп. 25. Д. 186. Л. 195 об., 1861–1870 гг.
- [8] Метрические книги Николаевской ц. с. Дорок Чухломского уезда Костромской губернии. ГАКО. Ф. 56. Оп. 25. Д. 109. Л. 82., 1867–1887 гг.
- [9] Смирнов Г.К., Шармин П.Н., Щеболева Е.Г. Памятники архитектуры Костромской области: каталог. Выпуск VI. М.: Кострома, 2004, С. 186–188.
- [10] Мотивы русской архитектуры // Ежемесячный альбом архитектурных рисунков / под ред. А. Рейнбот. Вып. 41–42., 1876.
- [11] Дом Сазонова в Осташево: последние новости. URL: <https://arch-heritage.livejournal.com/1044199.html> (дата обращения 30.10.2020).
- [12] Контекст жизни государственного крестьянина Чухломского уезда Мартыяна Сазонова. URL: <https://life.kostromka.ru/kontekst-15317/> (дата обращения 28.02.21).
- [13] Чухломский муниципальный район. URL: <http://investkostroma.ru/municipalnye-obrazovaniya/chuhlomskiy-municipalnyy-rayon> (дата обращения 28.02.21).
- [14] Асташово (усадьба). URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Асташово\\_\(усадьба\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Асташово_(усадьба)) (дата обращения 30.10.2020).
- [15] Павличенков А.И. Музей «Асташово и окрестности». Фонд поддержки культурных и архитектурных инициатив «Асташово и окрестности». URL: <https://www.fondpotanin.ru/press/news/opredeleny-pobediteli-xii-grantovogo-konkursa-menyayushchisya-muзей-v-menyayushchemsya-mire/> (дата обращения 30.10.2020).
- [16] Проблемы сохранения культурных ландшафтов. Интервью Юрия Веденина. URL: <https://hraniteli-nasledia.com/articles/khraniteli/yuriy-vedenin-kulturnyy-landshaft-kak-obekt-naslediya/> (дата обращения 30.10.2020)



- [17] Леонова В.А. Культурный ландшафт: понятия, история и проблематика // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2015. Т. 19. № 5. С. 83–87.
- [18] Казаков Л.К. Ландшафтоведение с основами ландшафтного планирования. М.: Академия, 2008. 331 с.
- [19] Бубырева В.А., Ганнибал Б.К., Фатянова Е.В. Не поднимая глаз: прогулка ботаника по Екатерининскому парку. Сады и парки. Энциклопедия стиля // XXV Царскосельская науч. конф. Сб. науч. ст. I ч. СПб.: Серебряный век, 2019. С. 98–106.
- [20] Греч А.Н. Венок усадьбам. М.: АСТ-ПРЕСС, 2006. С. 44–45.

## Сведения об авторах

**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

**Куликова Анна Ивановна** — аспирант МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), gera.nika2012@gmail.com

**Тарасова Лидия Александровна** — бакалавр МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 7543879@mail.ru

Поступила в редакцию 22.04.2021.

Принята к публикации 17.05.2021.

## NATURAL LANDSCAPES STATE OF PEASANT MANOR IN ASTASHOVO VILLAGE (KOSTROMA REGION) AND PROSPECTS OF THEIR DEVELOPMENT

V.A. Leonova, A.I. Kulikova, L.A. Tarasova

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

leonovava@bk.ru

The historical information about the village of Astashovo and the owner of the peasant estate M. Sazonov is presented. Detailed information is given about the peculiarities of wooden architecture by the Russian architect I.P. Ropot (Petrov Ivan Nikolaevich, 1845-1908), according to whose sketches and drawings a tower house was built in the village of Astashovo (Ostashevo). The results of landscape analysis of the territory adjacent to the tower house, the former village of Ostashevo, are presented. The data of the inventory of tree plantations and their assortment are presented. Particular attention is paid to the glade, the place where the village was located, and the herbaceous plants that form the glade. Two options for improving the grass cover of the glade near the restored tower house are considered, the substantiation of the selected options is given.

**Keywords:** Chukhloma, Astashovo (Ostashevo), Martyan Sazonov, wooden tower, Art Nouveau, glade, grass cover

**Suggested citation:** Leonova V.A., Kulikova A.I., Tarasova L.A. *Sostoyanie prirodnikh landshaftov krest'yanskoy usad'by v derevne Astashovo Kostromskoy oblasti i perspektivy ikh razvitiya* [Natural landscapes state of peasant manor in Astashovo village (Kostroma region) and prospects of their development]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 5, pp. 74–84. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-5-74-84

## References

- [1] Nashchokina M.V. *Aktual'nye problemy izucheniya russkoy usad'by* [Actual problems of studying the Russian estate]. *Russkaya usad'ba* [Russian estate], 2008, iss. 13–14 (29–30), pp. 7–16.
- [2] Glagoleva O.E. *Zhizn' provintsial'noy usad'by: usad'ba Nikol'skoe na Upe Odoevskogo uyezda Tul'skoy gubernii* [The life of a provincial estate: the Nikolskoye estate on the Upa of the Odoevsky district of the Tula province]. *Russkaya usad'ba* [Russian estate], 2019, 25 (41), pp. 316–333.
- [3] Popova G.S. *Usadebnyy sad Russkoy provintsii. Sady i parki. Ektciklopediya stilya* [Manor garden of the Russian province. Gardens and parks. Ecyclopedia of style]. XXV Tsarskosel'skaya nauch. konf. Sb. nauch. st., II ch. [XXV Tsarskoye Selo scientific. conf. Sat. scientific. Art., II part]. St. Petersburg: [Silver Age], 2019, pp. 122–132.
- [4] Likhachev D. *Poeziya sadov* [Poetry of gardens]. Moscow: CoLibri, 2018, pp. 60–61.
- [5] *Sel'skokhozyaystvennaya perepis' 1916 g. v Kostromskoy gubernii. Vyp. 10-y. Soligalicheskij, Chukhlomskij i Yur'evskij uezdy (kratkie svedeniya po seleniyam)* [Agricultural census of 1916 in the Kostroma province. Issue 10th. Soligalicheskij, Chukhlomskij and Yuryevskij districts (brief information on the villages)]. Kostroma: Printing House of the Provincial Municipal Collegium, 1918, pp. 12–13.
- [6] *Metricheskie knigi o rozhdenii, brakosochetanii i smerti prikhozhan Rizpolozhenskoy tserkvi s. Ozerki Chukhlomskogo uyezda* [Metric books about the birth, marriage and death of the parishioners of the Church of the Robe s. Ozerki of the Chukhloma district]. GAKO. F. 56. Op. 25. D. 188. L. 16 v., 1885–1893.

- [7] *Metricheskie knigi o rozhdenii, brakosochetanii i smerti prikhozhan Rizpolozhenskoy tserkvi s. Ozerki Chukhlomskogo uezda* [Metric books about the birth, marriage and death of the parishioners of the Church of the Robe s. Ozerki of the Chukhloma district]. GAKO. F. 56. Op. 25. D. 186. L. 195 ob., 1861–1870.
- [8] *Metricheskie knigi Nikolaevskoy ts. s. Dorok Chukhlomskogo uezda Kostromskoy gubernii* [Metric books of the Nikolaev c. from Dorok of the Chukhloma district of the Kostroma province]. GAKO. F. 56. Op. 25. D. 109. L. 82., 1867–1887.
- [9] Smirnov G.K., Sharmin P.N., Shcheboleva E.G. *Pamyatniki arkhitektury Kostromskoy oblasti: katalog* [Architectural monuments of the Kostroma region: catalog]. Iss. VI. Moscow: Kostroma, 2004, pp. 186–188.
- [10] *Motivy russkoy arkhitektury Ezhemesyachnyy al'bom arkhitekturnykh risunkov; pod red. A. Reynbot* [Motives of Russian architecture. Monthly album of architectural drawings; ed. A. Rainbot], 1876, v. 41–42.
- [11] *Dom Sazonova v Ostashevo: poslednie novosti* [Sazonov's house in Ostashevo: latest news]. Available at: <https://arch-heritage.livejournal.com/1044199.html> (accessed 30.10.2020).
- [12] *Kontekst zhizni gosudarstvennogo krest'yanina Chukhlomskogo uezda Mart'yana Sazonova* [The context of the life of the state peasant of the Chukhloma district Martyan Sazonov]. Available at: <https://life.kostromka.ru/kontekst-15317/> (accessed 28.02.2021).
- [13] *Chukhlomskoy munitsipal'nyy rayon* [Chukhloma municipal district]. Available at: <http://investkostroma.ru/municipalnye-obrazovaniya/chukhlomskiy-municipalnyy-rayon> (accessed 28.02.2021).
- [14] *Astashovo (usad'ba)* [Astashovo (estate)]. Available at: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Astashovo\\_\(estate\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Astashovo_(estate)) (accessed 30.10.2020).
- [15] Pavlichenkov A.I. *Muzey «Astashovo i okrestnosti»*. Fond podderzhki kul'turnykh i arkhitekturnykh initsiativ «Astashovo i okrestnosti» [Museum «Astashovo and surroundings». Foundation for Support of Cultural and Architectural Initiatives «Astashovo and surroundings»]. Available at: <https://www.fondpotanin.ru/press/news/opredeleny-pobediteli-xii-grantovogo-konkursa-menyayushchisya-muzey-v-menyayushchemsya-mire/> (accessed 30.10.2020).
- [16] *Problemy sokhraneniya kul'turnykh landshaftov. Interv'yu Yuriya Vedenina* [Problems of preservation of cultural landscapes. Interview with Yuri Vedenin]. Available at: <https://hraniteli-nasledia.com/articles/khraniteli/yuriy-vedenin-kulturnyy-landshaft-kak-obekt-naslediya/> (accessed 30.10.2020).
- [17] Leonova V.A. *Kul'turnyy landsaft: ponyatiya, istoriya i problematika* [Cultural landscape: concepts, history and problems]. Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik, 2015, v. 19, no. 5, pp. 83–87.
- [18] Kazakov L.K. *Landshaftovedenie s osnovami landshaftnogo planirovaniya* [Landscape science with the basics of landscape planning]. Moscow: Academy, 2008, 331 p.
- [19] Bubyreva V.A., Gannibal B.K., Fat'yanova E.V. *Ne podnimaya glaz: progulka botanika po Ekaterininskomu parku. Sady i parki. Entsiklopediya stilya* [Without looking up: a botanist's walk in Catherine Park. Gardens and parks. Encyclopedia of style]. XXV Tsarskosel'skaya nauch. konf. Sb. nauch. st. I ch. [XXV Tsarskoye Selo scientific. conf. Sat. scientific. Art. Part I]. St. Petersburg: Silver Age, 2019, pp. 98–106.
- [20] Grech A.N. *Venok usad'bam* [Wreath for estates]. Moscow: AST-PRESS, 2006, pp. 44–45.

## Authors' information

**Leonova Valentina Alekseevna** — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Department of Landscape Architecture and Garden and Park Construction of the BMSTU (Mytishchi branch), [leonovava@bk.ru](mailto:leonovava@bk.ru)

**Kulikova Anna Ivanovna** — Pg. Student of the of the BMSTU (Mytishchi branch), [gera.nika2012@gmail.com](mailto:gera.nika2012@gmail.com)

**Tarasova Lidia Aleksandrovna** — Bachelor of the BMSTU (Mytishchi branch), [7543879@mail.ru](mailto:7543879@mail.ru)

Received 22.04.2021.

Accepted for publication 17.05.2021.

## МИКОЛИЗ ДРЕВСИНЫ, ЕГО ПРОДУКТЫ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

### IV. КОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ МИКОЛОГИЧЕСКИ РАЗРУШЕННОЙ ДРЕВСИНЫ

Г.Н. Кононов<sup>1</sup>, А.Н. Веревкин<sup>1</sup>, Ю.В. Сердюкова<sup>1</sup>,  
В.Д. Зайцев<sup>1</sup>, Н.Л. Горячев<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>ОАО «ЦНИИБ», 141260, Московская обл., пос. Правдинский, ул. Ленина, д. 15/1

kononov@mgul.ac.ru

Работа посвящена изучению компонентного состава микологически разрушенной древесины. В результате миколиза древесины под действием ферментов дереворазрушающих грибов образуются так называемые «гнили» с химическим составом отличным от здоровой древесины. Показано, что «бурая гниль» древесины обогащена лигнинными компонентами, а «белая гниль» углеводными составляющими древесины. Приведены результаты анализов лигноуглеводных комплексов «бурой гнили» древесины ели, «белой гнили» — древесины березы и группового исследования низкомолекулярных соединений, выделенных методами экстракции различными растворителями. Определено, что содержание лигнина в образце древесины «бурой гнили» в четыре раза больше, чем в образце «белой гнили». Выявлена значительная обогащенность целлюлозой древесины березы с «белой гнилью», а также химическая природа некоторых групп экстрактивных веществ. В экстрактах микологически разрушенной древесины обнаружены вещества фенольной, спиртовой и хинонной природы. Отмечено наличие производных ароматических и алифатических карбонильных и карбоксильных соединений. Среди продуктов миколиза идентифицированы углеводы, флаваноиды и терпеноиды. На основании анализа выдвинуто предположение, что микологически разрушенная древесина содержит большой спектр фенольных и углеводных соединений, содержащихся как в исходной древесине, так и в самих спорах и гифах дереворазрушающих грибов. Обоснована идея о том, что в результате изучения экстрактивных веществ микологически разрушенной древесины появится возможность прогнозировать направления перспективного использования этого сырья для получения целевых продуктов. Настоящая статья является четвертой в цикле «Миколиз древесины, его продукты и их использование», предыдущие опубликованы в журнале «Лесной вестник / Forestry Bulletin», 2020. Т. 24, № 2, 6; Т. 25, № 1.

**Ключевые слова:** лигноуглеводный комплекс, экстрактивные вещества, ароматические соединения, хиноны, углеводы, алифатические соединения, терпены

**Ссылка для цитирования:** Кононов Г.Н., Веревкин А.Н., Сердюкова Ю.В., Зайцев В.Д., Горячев Н.Л. Миколиз древесины, его продукты и их использование. IV. Компонентный состав микологически разрушенной древесины // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 5. С. 85–96. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-5-85-96

В результате миколиза древесины под действием ферментов дереворазрушающих грибов образуются так называемые «гнили» с измененной макро- и микроструктурой, но, что наиболее важно, с химическим составом, отличным от здоровой древесины [1–4].

При наличии целлюлолитических ферментов, продуцируемых ксилофитами, образуется «бурая гниль», обогащенная лигнинной составляющей древесины, а при наличии лигнолитических ферментов — «белая гниль», обогащенная углеводной составляющей. Этот очевидный факт позволяет выдвинуть предположения о целенаправленном использовании древесины различного типа микологического разрушения. Однако ферментативное воздействие дереворазрушающих грибов приводит к фрагментации компонентов лигноуглеводного комплекса древесины с образованием низкомолекулярных соединений не свойственных здоровой древесине, но способных извлекаться традиционными методами экстракции [5–10]. Комплексное изучение как видоизмененного лигноуглеводного комплекса микологически разрушенной древесины, так и

всей гаммы экстрактивных веществ, содержащихся в ней, позволяют прогнозировать возможные направления перспективного использования этого невостребованного сырья для получения целевых продуктов и материалов [11–16].

#### Цель работы

Цель работы — изучение лигноуглеводного комплекса и низкомолекулярных соединений, содержащихся в микологически разрушенной древесине, их количественное определение методами экстракции и характеристика химической природы отдельных компонентов.

#### Материалы и методы

В качестве объекта исследования использовали «бурую гниль» древесины ели и «белую гниль» древесины березы. Лигноуглеводный комплекс микологически разрушенной древесины был проанализирован стандартными методами, целлюлоза определена по методу Кюршнера и Хоффера, лигнин — по методу Класона [3, 17–20]. Для выделения низкомолекулярных соединений использовали такие экстрагенты с различной



полярностью, как бензол, этанол, вода и 1%-й водный раствор КОН [21–23].

Компонентный состав экстрактов определяли на газовом хроматографе 7890А с капиллярной колонкой HP-5MS диаметром 0,25 мм, длиной 30 м, с толщиной слоя неподвижной фазы 0,25 мкм с масс-селективным детектором (МСД) 5975С VLMSD Agilent Technologies (USA). Условия проведения хроматографии: повышение температуры колонки в термостате от 100 °С до 260 °С со скоростью 10 °С/мин; температура инжектора 250 °С, детектора 300 °С. Газ-носитель — азот, расход 20 мл/мин, расход водорода 35 мл/мин, объем анализируемой пробы 1 мкл, деление потока 1:100. Общая продолжительность анализа 30 мин [24–25].

Для расчета содержания изомеров использовали автоматическую базу поиска и идентификации данных хромато-масс-спектрометрии NIST08 MS Library с положительной вероятностью соотнесения пиков [26, 27].

Для визуализации результатов анализа использовали графический редактор Chemical Draw Ultra.

## Результаты и обсуждение

Проведение перечисленных выше анализов позволило получить важные фактические данные (таблице).

### Компонентный состав микологически разрушенной древесины (% , массовая доля)

#### Component analysis of mycologically destroyed wood (% , mass fraction)

Компонент	«Бурая гниль» ели	«Белая гниль» березы	
Целлюлоза	—	50,0	
Лигнин Класона	52,2	13,1	
Экстрактивные вещества	в холодной воде ( $t \approx 20$ °С)	1,7	18,9
	в горячей воде ( $t \approx 90$ °С)	15,8	22,3
	в этаноле	9,0	1,7
	в бензоле	4,0	4,1
	в 1%-м растворе КОН	49,5	27,0
Минеральные вещества (зольность)	1,5	1,4	
Относительная влажность	6,9	8,0	

Из приведенных в таблице данных следует, что относительная влажность древесины с «белой гнилью» несколько выше, чем у древесины с «бурой гнилью», по-видимому, вследствие обогащения первой гидрофильными компонентами углеводного характера. Зольность исследуемых образцов близка по значениям, но несколько выше, чем у здоровой древесины, вследствие уменьшения плотности микологически разрушенной древесины. Содержание лигнина в образце с

«бурой гнилью» в 4 раза больше, чем в образце с «белой гнилью». Это объясняется различным механизмом миколиза древесины. «Белая гниль» березы значительно обогащена целлюлозой, а в «бурой гнили» ели стандартным методом по Кюршнеру и Хофферу ее определить не удалось, поскольку видоизмененный лигнин не разрушается под действием азотной кислоты, что создает значительный фон при количественном определении целлюлозы.

Холодная вода хорошо экстрагирует компоненты «белой гнили», содержащей, по-видимому, большое количество алифатических компонентов, чего не происходит с компонентами «бурой гнили». Горячая вода интенсифицирует процесс экстракции, и в ней уже растворяются менее гидрофильные, очевидно, ароматические соединения «бурой гнили». Экстрагирующая способность этанола существенно выше, чем у холодной воды в отношении гидрофобных компонентов «бурой гнили», но ниже, по отношению к компонентам «белой гнили». Неполярный бензол дает низко концентрированные неокрашенные экстракты. Лучше всего экстракция протекает с 1%-м раствором КОН, особенно в случае «бурой гнили», содержащей большое количество фенолов, которые образуют в щелочной среде растворимые феноляты.

В результате использования экстрагентов различной полярности были получены идентичные по окраске экстракты как для «бурой», так и для «белой гнили», интенсивность окраски которых характеризует концентрацию растворенных в них, а цвет — наличие различных соединений с хромофорными группами (рис. 1, 2).

Компонентный анализ экстрактов дал возможность получить следующие результаты. Микологически разрушенная древесина ели с «бурой гнилью» содержит большой спектр фенольных соединений, которые являются соединениями, присущими как исходной древесине, так и образующимися при ее миколизе и экстрагируемыми из спор и гифов грибов. Среди компонентов экстрактов были идентифицированы: ароматический углеводород — бензол (I); соединения фенольной природы — фенол (II), гидрохинон (III), пирокатехин (IV), а также деметилированный секоизоларициресинол (V), представляющий собой продукт фенольной природы и являющийся многоядерным ароматическим спиртофенолом (рис. 3).

Среди ароматических альдегидов были идентифицированы бензальдегид (VI), 4-гидрокси-3-метоксибензальдегид (VII), 4-гидроксибензальдегид (VIII), (4-гидроксифенил)-ацетальдегид (IX) (рис. 4).

Среди ароматических кетонов был обнаружен пиностробин (X) — халькон, вырабатываемый в древесном растении при его поражении гри-

бом-паразитом [7], а так же обнаружен 1-(2,3-дигидроксифенил)-ацетон (XI), пропиофенон (XII) (рис. 5).

Среди обнаруженных хинонов присутствуют: продукт окисления 4-оксистерильбена (XIII), п-бензохинон (XIV), 2,3,5-триметилциклогексадиен-2,5-дион-1,4 (XV), 1,4-нафтохинон (XVI), 2,3,5,7-тетрагидроксианафтохинон (XVII), 1,2,4-триметилантрахинон-9,10 (XVIII). Соединения с хинонной природой являются биологически активными компонентами дереворазрушающих грибов [5] и содержатся в микологически разрушенной древесине вследствие присутствия в ней их спор и гифов (рис. 6).

Среди продуктов миколиза идентифицированы производные флавана — хризин (XXXI), изальпинин (XXXII), тектохризин (XXXIII) и производное кумарина — эскулетин (XXXIV) (рис. 7).

Среди ароматических кислот были идентифицированы ароматические карбоновые кислоты: 4-гидроксибензойная (XIX), фенилуксусная (XX), коричная (XXI), изофталевая (XXII), 5-гидроксиметилтерефталевая (XXIII), терефталевая (XXIV), 3,4-дигидроксибензойная (XXV), п-гидроксибензойная (XXVI), 3-(4-гидрокси-3-метоксифенил)-молочная (XXVII), 2-(3,4-дигидрокси-фенокси)-уксусная (XXVIII), 2,4,6-триизопропилбензойная (XXIX), а также продукт гидролиза эллаготанинов — эллаговая кислота (XXX) (рис. 8).

Среди соединений нефенольной природы были обнаружены углеводы: глюкоза (XXXV), рибоза (XXXVI) и арабиноза (XXXVII). Углеводы, содержащиеся в микологически разрушенной древесине, могут быть как продуктами деструкции основных полисахаридов древесинного вещества, так и продуктами гидролиза фенольных соединений, находящихся в древесине в форме гликозидов (рис. 9).

Среди продуктов миколиза также были идентифицированы алифатические карбоновые кислоты: лауриновая (XXXVIII), ундециловая (XXXIX), каприновая (XXXX), капроновая (XXXXI), бутановая (XXXXII), уксусная (XXXXIII), малоновая (XXXXIV), фумаровая (XXXXV), щавелевая (XXXXVI) (рис. 10).

Достаточно большая группа экстрактивных веществ представлена терпенами, экстрагируемыми бензолом, и их кислородсодержащими производными, экстрагируемыми этанолом. Среди них были идентифицированы камфен (XXXXVII), сантен (XXXXVIII), фенхин (XXXXIX), цимол (L), метилэвгенол (LI), пинан-1-ол (LII), терпениол-4 (LIII), Т-кардиол (LIV), Т-муролол (LV), продукт изомеризации 1,3-эпиманоол (LVI), 13-эпиманоилоксид (LVII). Найденные терпены и терпеноиды являются важными составляющими

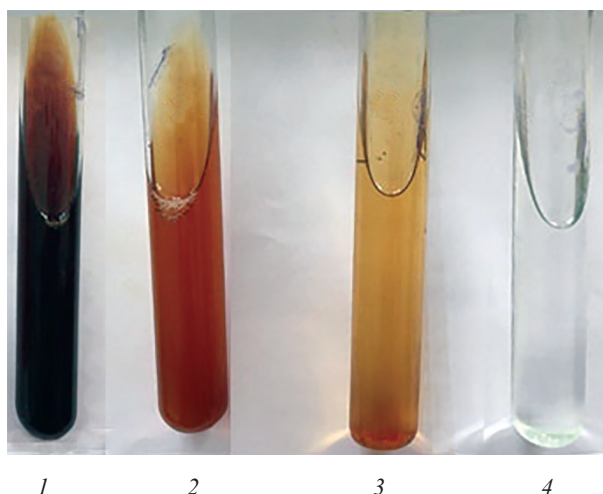


Рис. 1. Экстракты «бурой гнили»: 1 — в 1%-м растворе KOH; 2 — в бензоле; 3 — в этаноле; 4 — в горячей воде  
Fig. 1. Extracts of «brown rot»: 1 — in 1 % KOH solution; 2 — in benzene; 3 — in ethanol; 4 — in hot water

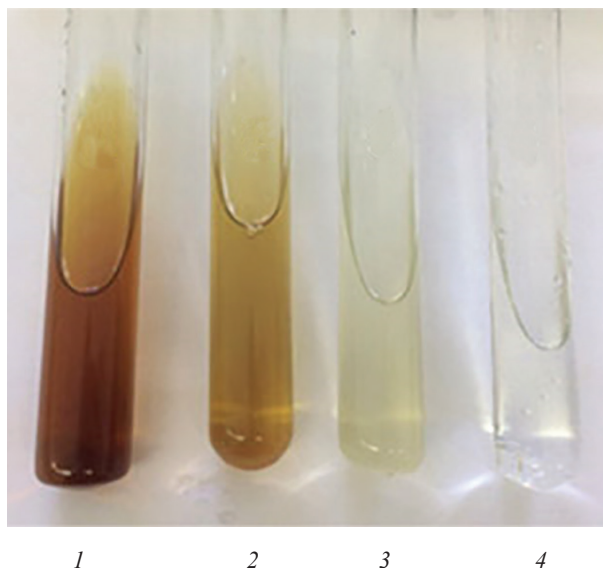


Рис. 2. Экстракты «белой гнили»: 1 — в 1%-м растворе KOH; 2 — в бензоле; 3 — в этаноле; 4 — в горячей воде  
Fig. 2. Extracts of «white rot»: 1 — in 1 % KOH solution; 2 — in benzene; 3 — in ethanol; 4 — in hot water

экстрактивных веществ древесины хвойных пород, которые не разрушаются ферментами дереворазрушающих грибов и выполняют функцию фунгицидов [5] (рис. 11).

Среди производных стерина были идентифицированы пиниколовая кислота А (LVIII) и полипиреновая кислота С (LIX), являющиеся биологически активными веществами дереворазрушающих грибов, вызывающих «бурю гниль» [3] (рис. 12).

Экстрактивные вещества древесины березы, пораженной грибами «белой гнили», содержащиеся в водных экстрактах, обогащены углеводными компонентами, а этанольные и бензольные экстракты — фенольными компонентами.

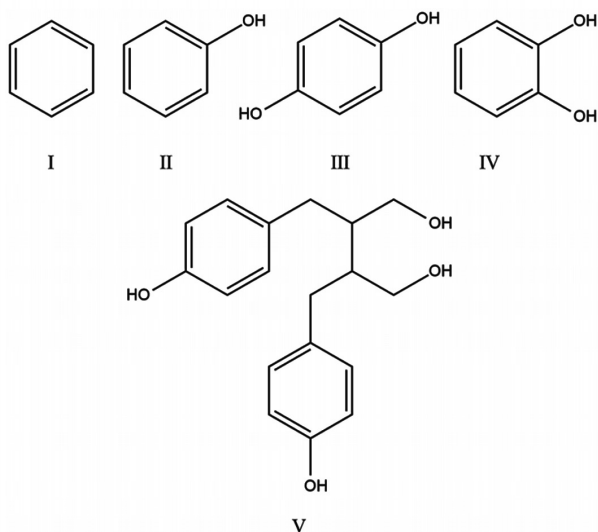


Рис. 3. Структурные формулы бензола и фенольных продуктов миколиза древесины ели

Fig. 3. Structural formulas of benzene and phenolic products of spruce wood mycolysis

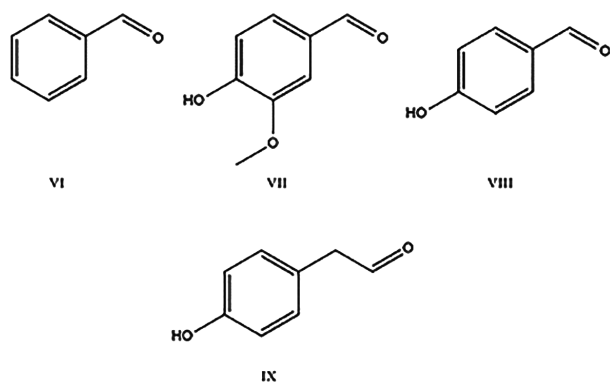


Рис. 4. Структурные формулы ароматических альдегидов, продуктов миколиза древесины ели

Fig. 4. Structural formulas of aromatic aldehydes, wood spruce mycolysis products

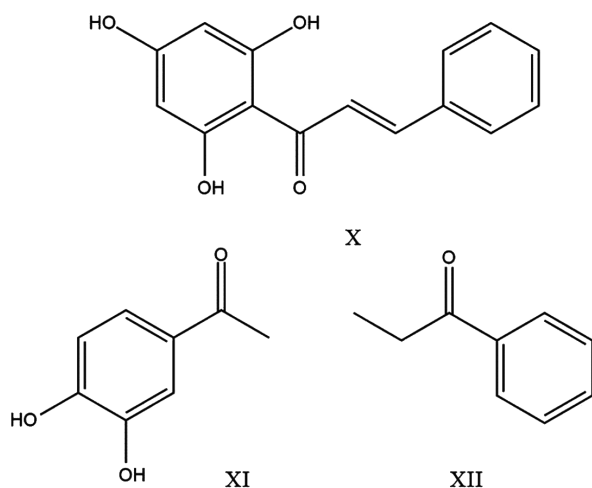


Рис. 5. Структурные формулы ароматических кетонов — продуктов миколиза древесины ели

Fig. 5. Structural formulas of aromatic ketones — products of spruce wood mycolysis

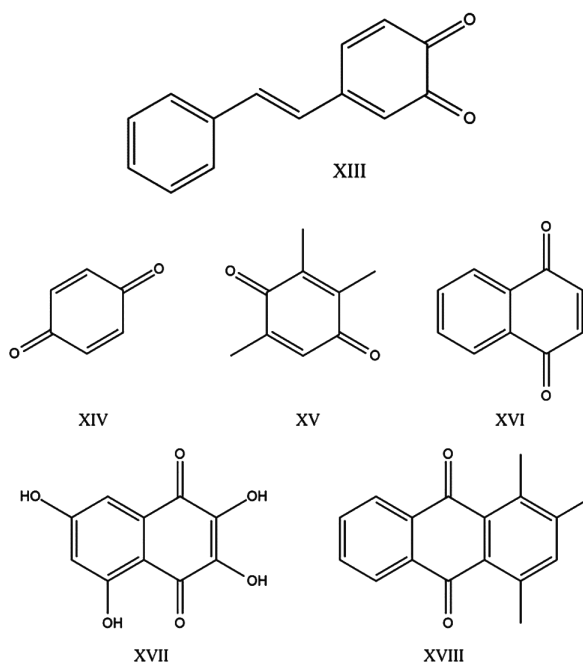


Рис. 6. Структурные формулы производных хинонов — продуктов миколиза древесины ели

Fig. 6. Structural formulas of quinone derivatives — products of spruce wood mycolysis

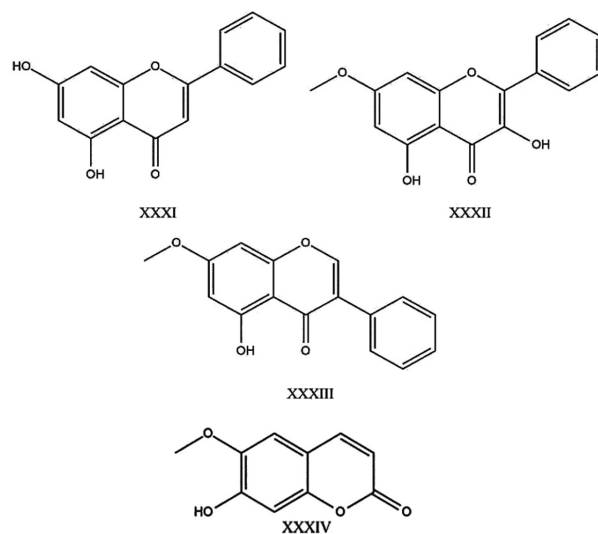
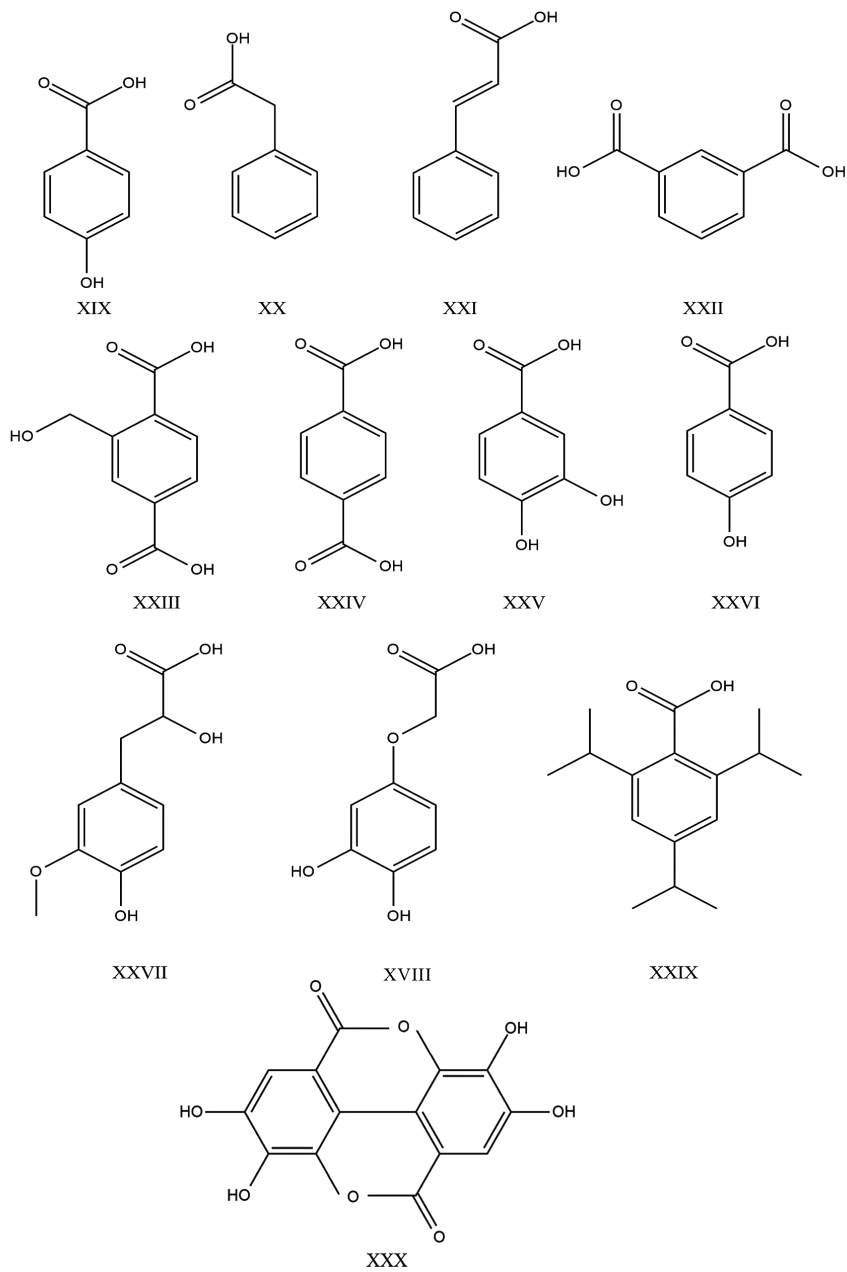


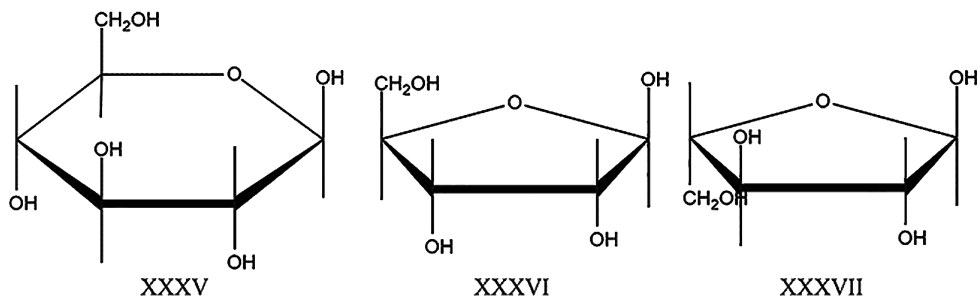
Рис. 7. Структурные формулы производных кумарина и флавана — продуктов миколиза древесины ели

Fig. 7. Structural formulas of coumarin and flavan derivatives — products of spruce wood mycolysis

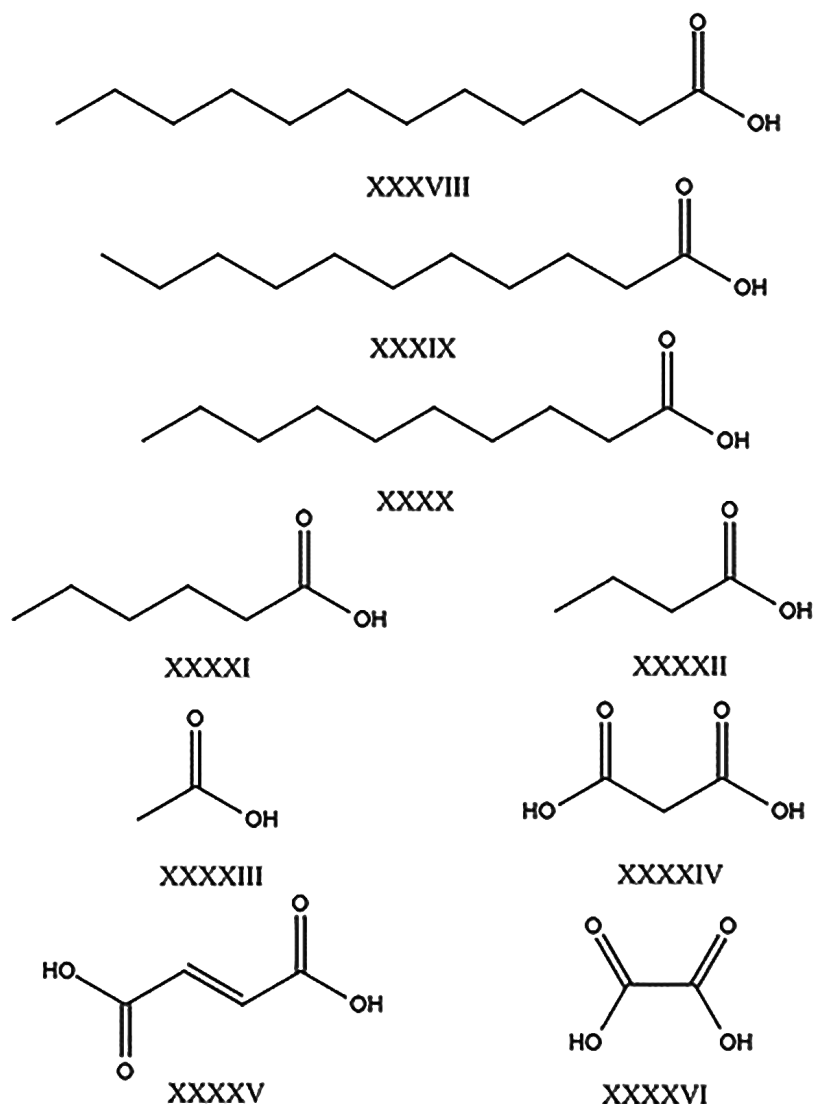




**Рис. 8.** Структурные формулы производных ароматических карбоновых кислот — продуктов миколиза древесины ели  
**Fig. 8.** Structural formulas of aromatic carboxylic acid derivatives — products of spruce wood mycolysis



**Рис. 9.** Структурные формулы углеводов «бурой гнили»  
**Fig. 9.** Structural formulas of «brown rot» carbohydrates



**Рис. 10.** Структурные формулы алифатических карбоновых кислот «бурой гнили»  
**Fig. 10.** Structural formulas of «brown rot» aliphatic carboxylic acids

В водных экстрактах «белой гнили» древесины березы были обнаружены (рис. 7) такие углеводы, как глюкоза (XXXV), рибоза (XXXVI) и арабиноза (XXXVII). Они могут быть продуктами деструкции основных полисахаридов древесинного вещества грибами «белой гнили».

В этанольных и бензольных экстрактах «белой гнили» древесины березы были обнаружены как описанные выше фенольные, карбонильные и карбоксильные соединения (рис. 1–3, 5, 8), так и другие вещества — продукты миколиза древесины березы грибами «белой гнили». В экстрактах были идентифицированы резорцин (LX), 4-((4-гидроксибензил)-окси)-2,6-диметилкси-фенол (LXI), 4-((4-(гидроксиметил)-фенокс)-метил)-2,6-диметоксицилогексадиенон-2,4 (LXII), 3-((3,5-дигидроксифенокс)-метил)-пирокатехин (LXIII) (рис. 13).

Среди продуктов миколиза «белой гнили» были идентифицированы ароматические карбонильные соединения: 7-метокси-2-фенил-4Н-1-бензопиранон-4 (LXIV), 3-ацетил-6-хлор-2Н-1-бензопиранон-2 (LXV), 2Н-1-бензопиранон-2 (LXVI), 6-метокси-3-фенил-4Н-хроменон-4 (LXVII), 3,3-дифенилакрилофенон (LXVIII), 1-(4-гидрокси-3-метоксифенил)-пропанон-2 (LXIX), 2-((3,5-диметокси-4-оксоциклогекса-1,5-диен-1-ил)-окси)-4-оксоциклогексадиен-1,5-карбальдегид (LXX) (рис. 14).

Экстрактивные вещества древесины березы, пораженной грибами «белой гнили» содержали ароматические карбоновые кислоты: коричную (XXI) (см. рис. 5), фенилпропионовую (LXXI), (Е)-3-(4-гидрокси-3-метоксифенил) акриловую (LXXII), 4-гидрокси-3-метоксибензойную (LXXIII), 4-гидрокси-3,5-диметилксибензойную (LXXIV), (Е)-3-(4-гидроксифенил) акриловую (LXXV) (рис. 15).

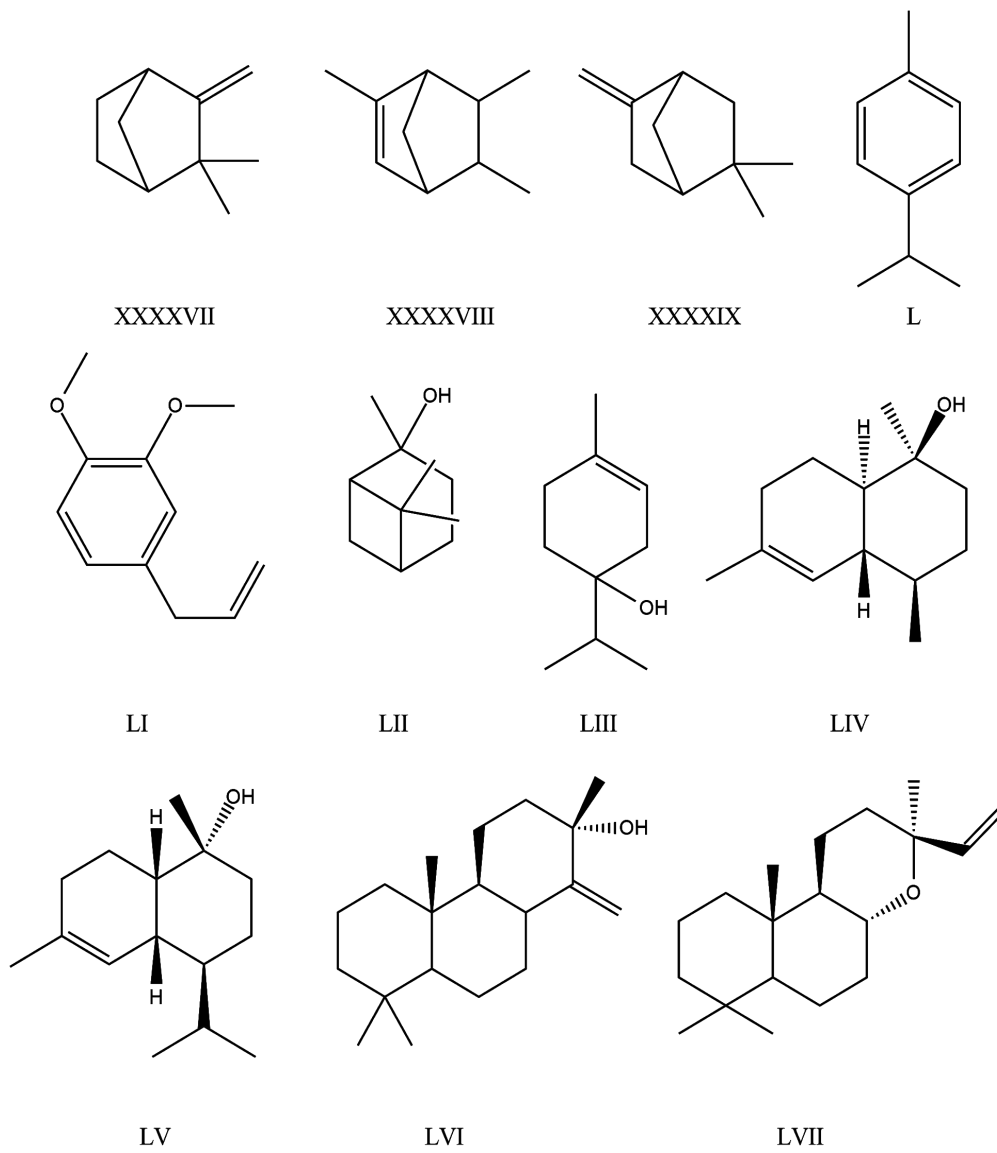


Рис. 11. Структурные формулы терпенов и терпеноидов «бурой гнили»  
 Fig. 11. Structural formulas of terpenes and terpenoids of «brown rot»

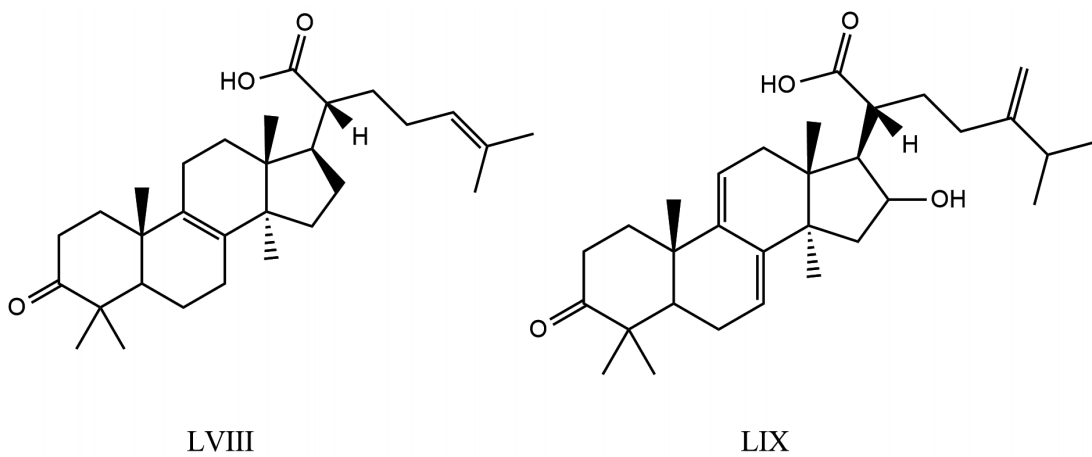


Рис. 12. Структурные формулы производных стерина «бурой гнили»  
 Fig. 12. Structural formulas of «brown rot» sterol derivatives



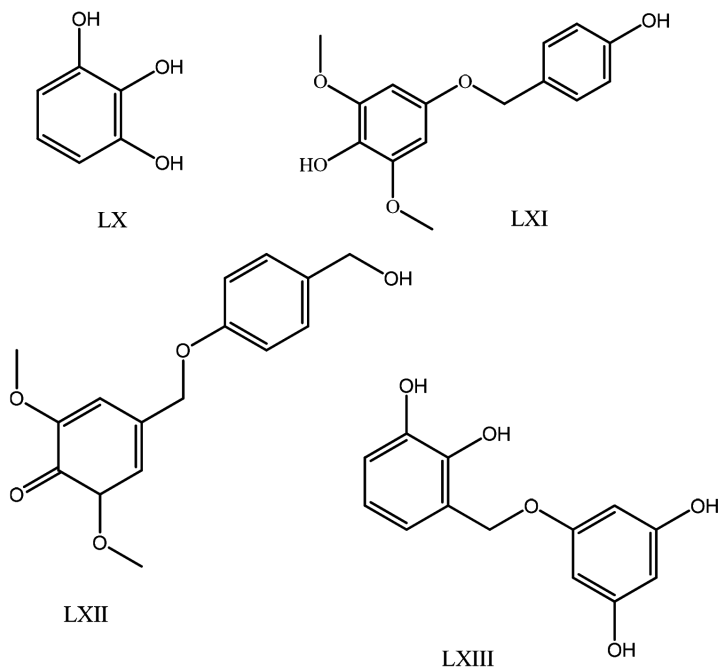


Рис. 13. Структурные формулы фенольных продуктов миколиза «белой гнили» древесины березы

Fig. 13. Structural formulas of phenolic mycolysis products of «white rot» birch wood

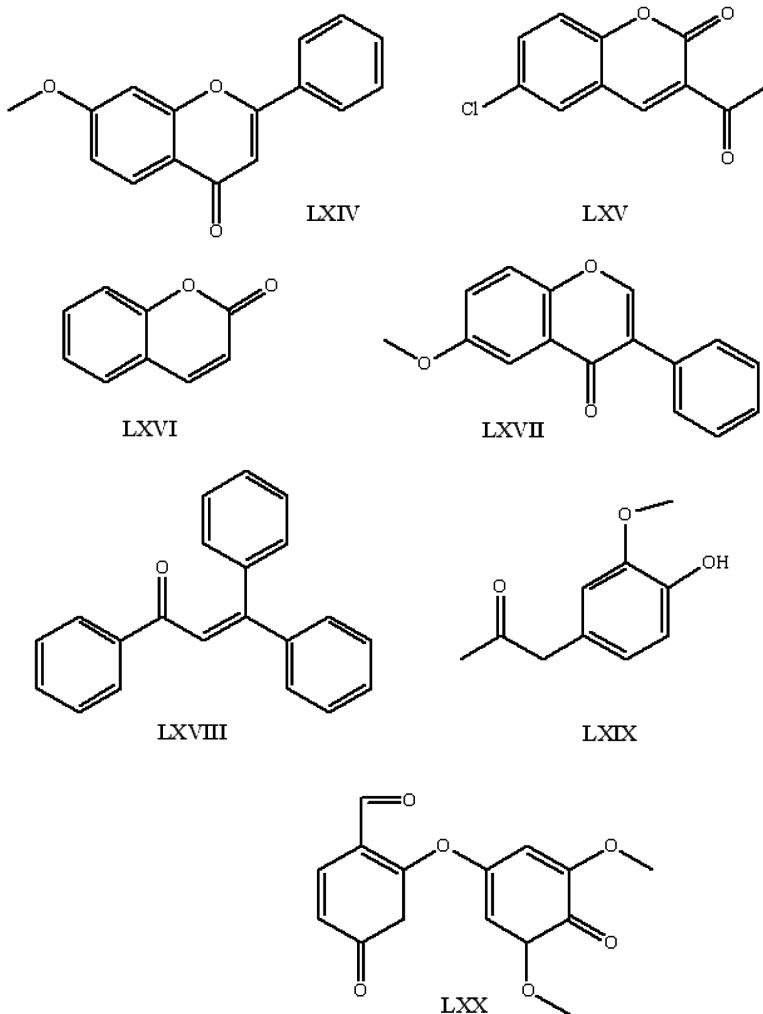


Рис. 14. Структурные формулы карбонильных продуктов миколиза «белой гнили» древесины березы

Fig. 14. Structural formulas of carbonyl mycolysis products of «white rot» birch wood

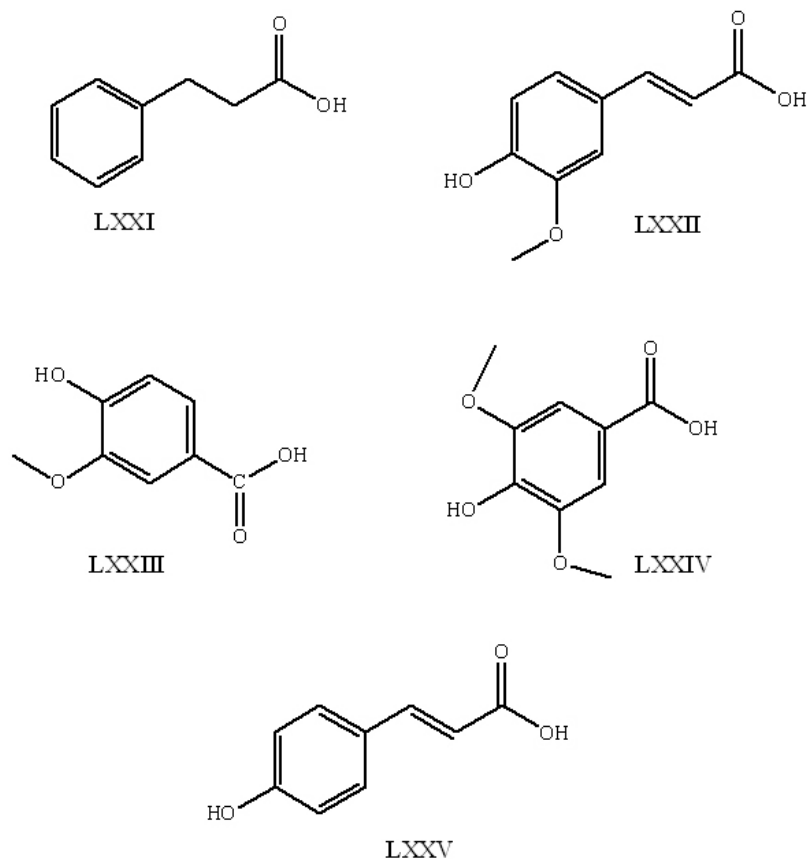


Рис. 15. Структурные формулы карбоксильных продуктов миколиза «белой гнили» древесины березы

Fig. 15. Structural formulas of carboxyl mycolysis products of «white rot» birch wood

## Выводы

Микологически разрушенная грибами «бурой гнили» древесина обогащена лигнином и низкомолекулярными фенольными соединениями, общее содержание которых достигает почти 50 %, может быть использована для дальнейшей химической переработки в качестве их источника или природного композита для биопластиков.

Древесина с «белой гнилью» является глубоко делигнифицированным продуктом. Содержание целлюлозы в ней в 4 раза превышает содержание лигнина, что позволяет рассматривать ее как перспективный полуфабрикат и углеводное химическое сырье.

Помимо присущих исходной древесине экстрактивных веществ и продуктов их трансформации в микологически разрушенной древесине присутствуют продукты жизнедеятельности самих дереворазрушающих грибов, экстрагируемых из их спор и гифов, однако их содержание незначительно.

Многокомпонентность микологически разрушенной древесины позволяет предположить многоплановость ее перспективного использования.

## Список литературы

- [1] Рабинович М.Л., Болобова А.В., Кондращенко В.И. Теоретические основы биотехнологии древесных композитов. Кн. I. Древесина и разрушающие ее грибы. М.: Наука, 2001. 264 с.
- [2] Singh A.P., Singh T. Biotechnological applications of wood-rotting fungi: A review // *Biomass and Bioenergy*, 2014, v. 62, pp. 198–206.
- [3] Кононов Г.Н. Химия древесины и ее основных компонентов. Лабораторный практикум. М.: МГУЛ, 2005. 138 с.
- [4] Wang W., Zhu Y., Cao J., Sun W. Correlation between dynamic wetting behavior and chemical components of thermally modified wood // *Applied Surface Science*, 2015, v. 324, pp. 332–338.
- [5] Шиврина А.Н. Биологически активные вещества высших грибов // М.; Л.: Наука, 1965. 200 с.
- [6] Häder D.P. Biotechnological substances from fungi *Natural Bioactive Compounds // Technological Advancements*, 2021, ch. 13, pp. 267–273.
- [7] Haverly M.R., Ghosh A., Brown R.C. The effect of moisture on hydrocarbon-based solvent liquefaction of pine, cellulose and lignin // *J. of Analytical and Applied Pyrolysis*, 2020, v. 146, pp. 167–177.
- [8] Семенов А.А. Очерк химии природных соединений. Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 2000. 664 с.
- [9] Thomas da Silva D., Herrera R., Batista B.F., Heinzmann B.M., Labidi J. Physicochemical characterization of leaf extracts from *Ocotea lancifolia* and its effect against wood-rot fungi // *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2017, v. 117, pp. 158–170.

- [10] Valette N., Perrot T., Sormani R., Gelhaye E., Morel-Rouhier M. Antifungal activities of wood extractives // *Fungal Biology Reviews*, 2017, v. 31, no. 3, pp. 113–123.
- [11] Bouslimi B., Koubaa A., Bergeron Y. Effects of biodegradation by brown-rot decay on selected wood properties in eastern white cedar (*Thuja occidentalis* L.) // *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2014, v. 87, pp. 87–98.
- [12] Пентегова В.А., Дубовенко Ж.В., Ралдугин В.А., Шмидт Э.Н. Теорпеноиды хвойных растений. Новосибирск: Наука, 1987. 200 с.
- [13] Sumthong P., Romero-González R.R., Verpoorte R. Identification of Anti-Wood Rot Compounds in Teak (*Tectona grandis* L.f.) Sawdust Extract // *J. Wood Chemistry and Technology*, 2008, v. 28, pp. 247–260.
- [14] Ovejero-Pérez A., Rigual V., Domínguez J.C., Alonso M.V., Oliet M., Rodríguez F. Acidic depolymerization vs ionic liquid solubilization in lignin extraction from eucalyptus wood using the protic ionic liquid 1-methylimidazolium chloride // *International J. of Biological Macromolecules*, 2020, v. 157, pp. 461–469.
- [15] Durmaz S., Özgenç Ö., Boyacı I.H., Yıldız Ü.C., Erişir E. Examination of the chemical changes in spruce wood degraded by brown-rot fungi using FT-IR and FT-Raman spectroscopy // *Vibrational Spectroscopy*, 2016, v. 85, pp. 202–207.
- [16] Fackler K., Stevanic J.S., Ters T., Hinterstoisser B., Schwanninger M., Salmén L. Localization and characterization of incipient brown-rot decay within spruce wood cell walls using FT-IR imaging microscopy // *Enzyme and Microbial Technology*, 2010, v. 47, no. 6, pp. 257–267.
- [17] Beck G., Thybring E.E., Lisbeth Garbrecht Thygesen L.G. Brown-rot fungal degradation and de-acetylation of acetylated wood // *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2018, v. 135, pp. 62–70.
- [18] Eller F.J., Kirker G.T., Mankowski M.E., Hay W.T., Palmquist D.E. Effect of burgundy solid extracted from Eastern Red Cedar heartwood on subterranean termites and Wood-decay fungi // *Industrial Crops and Products*, 2020, v. 144, pp. 112–123.
- [19] Thybring E.E. Water relations in untreated and modified wood under brown-rot and white-rot decay // *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2017, v. 118, pp. 134–142.
- [20] Naidu Y., Siddiqui Y., Rafiq M.Y., Saud M.H., 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.
- [21] Wang X., Hou Q., Zhang X., Zhang Y., Liu W., Xu Ch., Zhang F. Color evolution of poplar wood chips and its response to lignin and extractives changes in autohydrolysis pretreatment // *International J. of Biological Macromolecules*, 2020, v. 157, pp. 673–679.
- [22] Cetera P., Russo D., Milella L., Todaro L. Thermo-treatment affects *Quercus cerris* L. wood properties and the antioxidant activity and chemical composition of its by-product extracts // *Industrial Crops and Products*, 2019, v. 130, pp. 380–388.
- [23] Lühr C., Pecenka R. Development of a model for the fast analysis of polymer mixtures based on cellulose, hemicellulose (xylan), lignin using thermogravimetric analysis and application of the model to poplar wood // *Fuel*, 2020, v. 277, pp. 118–169.
- [24] Du H., Cheng Ju, Wang M., Tian M., Yang X., Wang Q. Red dye extracted sappan wood waste derived activated carbons characterization and dye adsorption properties // *Diamond and Related Materials*, 2020, v. 102, pp. 107–146.
- [25] Vichi S., Santini C., Natali N., Riponi C., López-Tamames E., Buxaderas S. Volatile and semi-volatile components of oak wood chips analysed by Accelerated Solvent Extraction (ASE) coupled to gas chromatography–mass spectrometry (GC–MS) // *Food Chemistry*, 2007, v. 102, no. 4, pp. 1260–1269.
- [26] Jünger P., Koning S., Brinkman U., Melcher E. Analyses of the wood preservative component N-cyclohexyl-diazoniumdioxide in impregnated pine sapwood by direct thermal desorption–gas chromatography–mass spectrometry // *J. of Chromatography A*, 2002, v. 953, no. 1–2, pp. 199–205.
- [27] Pe'rez-Coello M.S., Sanz J., Cabezudo M.D. Analysis of volatile components of oak wood by solvent extraction and direct thermal desorption–gas chromatography–mass spectrometry // *J. of Chromatography A*, 1997, v. 778, no. 1–2, pp. 427–434.

## Сведения об авторах

**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](mailto:kononov@mgul.ac.ru)

**Веревкин Алексей Николаевич** — канд. хим. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), [verevkin@mgul.ac.ru](mailto:verevkin@mgul.ac.ru)

**Сердюкова Юлия Владимировна** — ст. преподаватель МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), [caf-htdip@mgul.ac.ru](mailto:caf-htdip@mgul.ac.ru)

**Зайцев Владислав Дмитриевич** — аспирант МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), [kelertak@bk.ru](mailto:kelertak@bk.ru)

**Горячев Никита Леонидович** — канд. техн. наук, руководитель испытательного центра целлюлозно-бумажной продукции ОАО «ЦНИИБ», [nlgoryachev@bk.ru](mailto:nlgoryachev@bk.ru)

Поступила в редакцию 27.01.2021.

Принята к публикации 17.05.2021.



# MYCOLYSIS OF WOOD, ITS PRODUCTS AND THEIR USE

## IV. COMPONENT ANALYSIS OF MYCOLOGICALLY DESTROYED WOOD

G.N. Kononov<sup>1</sup>, A.N. Verevkin<sup>1</sup>, Yu.V. Serdyukova<sup>1</sup>, V.D. Zaitsev<sup>1</sup>, N.L. Goryachev<sup>2</sup>

<sup>1</sup>BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

<sup>2</sup>JSC «TSNIIB», 15/1, Lenin st., 141260, Pravdinsky settlement, Moscow reg., Russia

kononov@mgul.ac.ru

The article is devoted to the study of the component composition of mycologically destroyed wood. As a result of wood mycolysis under the action of wood-destroying fungi enzymes, so-called «rot» is formed with a chemical composition different from healthy wood. It is noted that the «brown rot» of wood is enriched with lignin components of wood and «white rot» with carbohydrate components of wood. The results of analyses of ligno-carbohydrate complexes of spruce wood «brown rot», birch wood «white rot» and a group study of low-molecular compounds isolated by extraction methods with various solvents are presented. It is noted that the content of lignin in the sample of «brown rot» wood is four times higher than in the sample of «white rot». It is shown that birch wood with «white rot» is significantly enriched with cellulose. The chemical nature of some groups of extractive substances has been revealed. In the extracts of mycologically destroyed wood, substances of phenolic, alcoholic and quinone nature were found. The presence of derivatives of aromatic and aliphatic carbonyl and carboxyl compounds is noted. Among the products of mycolysis, carbohydrates, flavanoids and terpenoids have been identified. Based on the analysis, an assumption is made that mycologically destroyed wood contains a wide range of phenolic and carbohydrate compounds contained both in the original wood and in the spores and hyphae of wood-destroying fungi themselves. The idea is substantiated that the study of extractive substances of mycologically destroyed wood makes it possible to predict possible directions of the prospective use of this raw material for obtaining target products. This article is the fourth in the cycle «Wood mycolysis, its products and their use», the previous ones were published in the journal «Forestry Bulletin», 2020, v. 24, no. 2, 6; v. 25, no. 1.

**Keywords:** ligno-carbohydrate complex, extractives, aromatic compounds, quinones, carbohydrates, aliphatic compounds, terpenes

**Suggested citation:** Kononov G.N., Verevkin A.N., Serdyukova Yu.V., Zaitsev V.D., Goryachev N.L. *Mikoliz drevesiny, ego produkty i ikh ispol'zovanie. IV. Komponentnyy sostav mikologicheskoi razrushennoy drevesiny* [Mycolysis of wood, its products and their use. IV. Component analysis of mycologically destroyed wood]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 5, pp. 85–96. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-5-85-96

## References

- [1] Rabinovich M.L., Bolobova A.V., Kondrashchenko V.I. *Teoreticheskie osnovy bio-tekhologii drevesnykh kompozitov. Kniga I. Drevesina i razrushayushchie ee griby* [Theoretical bases of biotechnology of wood composites. Book I. Wood and the fungi destroying it]. Moscow: Nauka, 2001, 264 p.
- [2] Singh A.P., Singh T. Biotechnological applications of wood-rotting fungi: A review. *Biomass and Bioenergy*, 2014, v. 62, pp. 198–206.
- [3] Kononov G.N. *Khimiya drevesiny i yeyo osnovnykh komponentov. Laboratornyy praktikum* [Chemistry of wood and its main components. Laboratory workshop]. Moscow: MSFU, 2005, 138 p.
- [4] Wang W., Zhu Y., Cao J., Sun W. Correlation between dynamic wetting behavior and chemical components of thermally modified wood. *Applied Surface Science*, 2015, v. 324, pp. 332–338.
- [5] Shivrina A.N. *Biologicheskii aktivnyye veshchestva vysshikh gribov* [Biologically active substances of higher fungi]. Moscow, Leningrad: Science, 1965, 200 p.
- [6] Häder D.P. Biotechnological substances from fungi Natural Bioactive Compounds. *Technological Advancements*, 2021, ch. 13, pp. 267–273.
- [7] Haverly M.R., Ghosh A., Brown R.C. The effect of moisture on hydrocarbon-based solvent liquefaction of pine, cellulose and lignin. *J. of Analytical and Applied Pyrolysis*, 2020, v. 146, pp. 167–177.
- [8] Semenov A.A. *Ocherk khimii prirodnykh soyedineniy* [Essay on the chemistry of natural compounds]. Novosibirsk: Nauka. Siberian Publishing Company RAS, 2000, 664 p.
- [9] Thomas da Silva D., Herrera R., Batista B.F., Heinzmann B.M., Labidi J. Physicochemical characterization of leaf extracts from *Ocotea lancifolia* and its effect against wood-rot fungi. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2017, v. 117, pp. 158–170.
- [10] Valette N., Perrot T., Sormani R., Gelhaye E., Morel-Rouhier M. Antifungal activities of wood extractives. *Fungal Biology Reviews*, 2017, v. 31, no. 3, pp. 113–123.
- [11] Bouslimi B., Koubaa A., Bergeron Y. Effects of biodegradation by brown-rot decay on selected wood properties in eastern white cedar (*Thuja occidentalis* L.). *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2014, v. 87, pp. 87–98.
- [12] Pentegova V.A., Dubovenko Zh.V., Raldugin V.A., Schmidt E.N. *Terpenoidy khvoynykh rasteniy* [Terpenoids of coniferous plants]. Novosibirsk: Nauka, 1987, 200 p.
- [13] Sumthong P., Romero-González R.R., Verpoorte R. Identification of Anti-Wood Rot Compounds in Teak (*Tectonagrandis* L.f.) Sawdust Extract // *J. Wood Chemistry and Technology*, 2008, v. 28, pp. 247–260.
- [14] Ovejero-Pérez A., Rigual V., Domínguez J.C., Alonso M.V., Oliet M., Rodríguez F. Acidic depolymerization vs ionic liquid solubilization in lignin extraction from eucalyptus wood using the protic ionic liquid 1-methylimidazolium chloride. *International J. of Biological Macromolecules*, 2020, v. 157, pp. 461–469.

- [15] Durmaz S., Özgenç Ö., Boyacı I.H., Yıldız Ü.C., Erişir E. Examination of the chemical changes in spruce wood degraded by brown-rot fungi using FT-IR and FT-Raman spectroscopy. *Vibrational Spectroscopy*, 2016, v. 85, pp. 202–207.
- [16] Fackler K., Stevanic J.S., Ters T., Hinterstoisser B., Schwanninger M., Salmén L. Localization and characterization of incipient brown-rot decay within spruce wood cell walls using FT-IR imaging microscopy. *Enzyme and Microbial Technology*, 2010, v. 47, no. 6, pp. 257–267.
- [17] Beck G., Thybring E.E., Lisbeth Garbrecht Thygesen L.G. Brown-rot fungal degradation and de-acetylation of acetylated wood. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2018, v. 135, pp. 62–70.
- [18] Eller F.J., Kirker G.T., Mankowski M.E., Hay W.T., Palmquist D.E. Effect of burgundy solid extracted from Eastern Red Cedar heartwood on subterranean termites and Wood-decay fungi. *Industrial Crops and Products*, 2020, v. 144, pp. 112–123.
- [19] Thybring E.E. Water relations in untreated and modified wood under brown-rot and white-rot decay. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2017, v. 118, pp. 134–142.
- [20] Naidu Y., Siddiqui Y., Rafii M.Y., Saud M.H., 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.
- [21] Wang X., Hou Q., Zhang X., Zhang Y., Liu W., Xu Ch., Zhang F. Color evolution of poplar wood chips and its response to lignin and extractives changes in autohydrolysis pretreatment. *International J. of Biological Macromolecules*, 2020, v. 157, pp. 673–679.
- [22] Cetera P., Russo D., Milella L., Todaro L. Thermo-treatment affects *Quercus cerris* L. wood properties and the antioxidant activity and chemical composition of its by-product extracts. *Industrial Crops and Products*, 2019, v. 130, pp. 380–388.
- [23] Lühr C., Pecenká R. Development of a model for the fast analysis of polymer mixtures based on cellulose, hemicellulose (xylan), lignin using thermogravimetric analysis and application of the model to poplar wood. *Fuel*, 2020, v. 277, pp. 118–169.
- [24] Du H., Cheng Ju, Wang M., Tian M., Yang X., Wang Q. Red dye extracted sappan wood waste derived activated carbons characterization and dye adsorption properties. *Diamond and Related Materials*, 2020, v. 102, pp. 107–146.
- [25] Vichi S., Santini C., Natali N., Riponi C., López-Tamames E., Buxaderas S. Volatile and semi-volatile components of oak wood chips analysed by Accelerated Solvent Extraction (ASE) coupled to gas chromatography–mass spectrometry (GC–MS). *Food Chemistry*, 2007, v. 102, no. 4, pp. 1260–1269.
- [26] Jünger P., Koning S., Brinkman U., Melcher E. Analyses of the wood preservative component N-cyclohexyl-diazoniumdioxide in impregnated pine sapwood by direct thermal desorption–gas chromatography–mass spectrometry. *J. of Chromatography A*, 2002, v. 953, no. 1–2, pp. 199–205.
- [27] Pe'rez-Coello M.S., Sanz J., Cabezudo M.D. Analysis of volatile components of oak wood by solvent extraction and direct thermal desorption-gas chromatography-mass spectrometry. *J. of Chromatography A*, 1997, v. 778, no. 1–2, pp. 427–434.

## Authors' information

**Kononov Georgiy Nikolaevich** — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), Corresponding Member of the Russian Academy of Natural Sciences, the Scientific Secretary of section «Chemistry and engineering chemistry of wood» RHO of D.I. Mendeleev, kononov@mgul.ac.ru

**Verevkin Aleksey Nikolaevich** — Cand. Sci. (Chem.), Associate Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), verevkin@mgul.ac.ru

**Serdyukova Yulia Vladimirovna** — Senior Lecturer of the BMSTU (Mytishchi branch), caf-htdip@mgul.ac.ru

**Zaytsev Vladislav Dmitrievich** — Pg. Student of the BMSTU (Mytishchi branch), kelertak@bk.ru

**Goryachev Nikita Leonidovich** — Cand. Sci. (Tech.), Head of the Testing Center for pulp and paper products of the JSC «TSNIIB», nlgoryachev@bk.ru

Received 27.01.2021.

Accepted for publication 17.05.2021.

## ИССЛЕДОВАНИЕ КРАСКОВОСПРИЯТИЯ БУМАГИ С ДОБАВЛЕНИЕМ ЦЕЛЛЮЛОЗНОЙ МАССЫ ИЗ КОРЫ ВЕТОК ТУТОВОГО ДЕРЕВА

Х.А. Бабаханова<sup>1</sup>, З.К. Галимова<sup>1</sup>, М.М. Абдуназаров<sup>1</sup>, И.И. Исмаилов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности, 100100, Республика Узбекистан, Ташкент, ул. Шохжахон, д. 5

<sup>2</sup>Наманганский инженерно-технологический институт, 160115, Республика Узбекистан, Наманган, ул. Касансай, д. 7

halima300@inbox.ru

Представлены результаты исследования красковосприятости бумаги, в композицию которой включена целлюлозная масса из внутреннего слоя коры веток тутового дерева, при струйной печати. Установлена связь между оптической плотностью оттиска печати и структурой поверхности бумаги, в частности поверхностной впитываемостью и шероховатостью. Проведено изучение ступенчатого градиционного перехода и цветовоспроизведения оттисков, графической точности воспроизведения штрихового элемента изображения. Выполнен денситометрический и микроскопический анализ оттисков, отпечатанных на струйном принтере. Выявлено, что пигменты водных чернил в зависимости от микрогеометрии поверхности бумаги по-разному проникали вглубь. Установлено, что максимальную толщину красочного слоя, выраженную с помощью значений оптической плотности для основных цветов субстративного синтеза, и лучшую цветопередачу обеспечила поверхность образца бумаги при 100%-м добавлении в ее состав целлюлозной массы из внутреннего слоя коры веток тутового дерева, имеющей наименьшую шероховатость, по данным сканирующего зондового микроскопа Solver HV. Даны рекомендации по проведению тестирования данных бумаги на струйных принтерах, использующих пигментные чернила и менее требовательных к поверхностным свойствам бумаги, или посредством способов печати, не использующих маловязкие печатные краски.

**Ключевые слова:** красковосприятие, целлюлозная масса, кора веток тутового дерева, бумага, струйная печать, оптическая плотность, цветовоспроизведение

**Ссылка для цитирования:** Бабаханова Х.А., Галимова З.К., Абдуназаров М.М., Исмаилов И.И. Исследование красковосприятости бумаги с добавлением целлюлозной массы из коры веток тутового дерева // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 5. С. 97–105. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-5-97-105

В Ташкентском институте текстильной и легкой промышленности выполнены работы по поиску доступного сырья для производства бумаги с использованием вторичных волокон, полученных из отходов хлопкоочистительной [1], шелковой [2, 3], текстильной [4, 5], сельскохозяйственной [6, 7] и фармацевтической промышленности [8–10]. Перспективность использования подобных отходов при производстве бумаги подтверждают увеличивающиеся объемы этих производств за счет ежегодной воспроизводимости и невысокой стоимости получаемой бумаги с различными свойствами.

Ежегодный прирост использования бумаги для печатания как с помощью традиционных, так и современных цифровых технологий объясняется увеличивающимся спросом на печатную продукцию. Для выпуска многокрасочной продукции малыми тиражами используется цифровая технология, одно из ведущих мест которой занимает технология струйной печати, обеспечивающая ее высокое разрешение, оперативность вывода изображения и невысокие затраты при печати малыми тиражами [11].

Бумагу для струйной печати условно можно подразделить на два класса: бумага без покрытия и с покрытием. Покрытие — это гидрофобный барьерный слой бумаги, позволяющий повысить

устойчивость к воде, устранить коробление и пробивание чернил на обратную сторону. Быстрое впитывание и закрепление чернил обеспечивается при наличии микропористой поверхности. Хорошая смачиваемость поверхности печатными чернилами улучшает качество изображения и цветопередачу. Оптимальное соотношение этих свойств в бумаге дает возможность получать качественные оттиски при струйной печати [12, 13].

Известно, что изменение композиционного состава бумажной массы за счет использования различного альтернативного сырья, правильно подобранного с учетом бумагообразующих свойств, позволяет получить бумагу с заданными свойствами [14].

### Цель работы

В данной работе для струйной печати протестированы образцы бумаги, в состав которых добавлена целлюлозная масса из внутреннего слоя коры веток тутового дерева.

### Материалы и методы

Физико-механические и поверхностные свойства бумаги уже были исследованы и опубликованы ранее [15–18].

В ходе выполнения исследовательских работ были поставлены следующие задачи:



– получение бумаги на основе хлопковой целлюлозы из линта с добавлением целлюлозной массы из внутреннего слоя коры веток тутового дерева;

– определение красковосприятости бумаги по разработанной тестовой шкале при печати на струйном принтере;

– с помощью денситометрического метода изучение ступенчатого градационного перехода и цветовоспроизведения оттисков печати для выявления связи между их оптической плотностью и структурой поверхности бумаги.

Для исследования влияния микрогеометрии поверхности на графическую точность воспроизведения штрихового элемента изображения на экспериментальных образцах бумаги был использован метод оптической микроскопии.

В качестве объектов исследования использовали пять образцов бумажных отливок, полученных из хлопковой целлюлозы со степенью помола 45 °ШР с 10-, 20-, 30- и 100%-м добавлением целлюлозной массы из внутреннего слоя коры веток тутового дерева со степенью помола 30 °ШР, и офисную бумагу SvetoCopy массой 80 г/м<sup>2</sup>, белизной 146 % (по ГОСТ Р ИСО 11476–2010) производства ЗАО «International Paper» (Светогорск, Россия), взятую для сравнения.

### Результаты и обсуждение

Авторами ранее проведены исследования свойств целлюлозной массы из внутреннего слоя коры веток тутового дерева [15] и микрогеометрии поверхности бумаги [16–17]. Обобщенные данные физико-механических показателей исследованных образцов бумаги на основе хлопковой целлюлозы приведены в табл. 1.

Учитывая специфические особенности используемых в струйной печати чернил, основным компонентом которых является вода, и лишь незначительную долю составляют растворители, исследована поверхностная впитываемость исследуемых бумаг [18].

Результаты показали, что гигроскопичность поверхности исследуемых бумаг, определенная по ГОСТ 12605-97 (ИСО 2470–77) меньше, чем у офсетной бумаги, согласно СТО 05711131-002–2014.

При струйной печати чернильные капельки на поверхности бумаги образуют пятна, размеры которых зависят от впитывающих свойств и микрогеометрии поверхностного слоя бумаги. Образованная красочная пленка после печати на поверхности бумажного листа будет гладкой и однородной только тогда, когда толщина пленки превысит шероховатость поверхности бумаги. Повышение шероховатости бумаги способствует увеличению рассеяния света.

В настоящее время для оценки качества поверхности бумаги и картона во всем мире используются такие косвенные методы, как гладкость по Бекку, шероховатость по Бендстену, шероховатость по Шеффилду, шероховатость по Паркеру (PPS), по которым можно получить усредненную (брутто) характеристику состояния поверхности анализируемого материала. Они основаны на измерении расхода воздуха между измерительным элементом прибора и поверхностью анализируемого материала.

Для исследования материалов на целлюлозной основе с 2010 г. начали применять прямые методы количественного анализа, а именно метод сканирующей электронной микроскопии [19, 20].

Т а б л и ц а 1

#### Физико-механические показатели бумаги с вариацией композиционного состава с добавлением целлюлозной массы из внутреннего слоя коры веток тутового дерева

Physical and mechanical parameters of paper with a variation of the composite with the addition of cellulose pulp from the inner layer of the bark of mulberry tree branches

Показатели	Состав бумаги, ХЦ:ТЦ, %					
	100:0	90:10	80:20	70:30	0:100	
Масса 1 м <sup>2</sup> , г (ГОСТ 13199–88)	84,8	80,5	86,1	82,3	82,1	
Толщина, мкм (ГОСТ 27015–86)	101	93	150	127	106	
Плотность, г/см <sup>3</sup> (ГОСТ 27015–86)	0,79	0,85	0,83	0,77	0,75	
Белизна, % (ГОСТ 30113–94, ИСО 2470–77)	82,3	80,2	79,6	78,7	74,0	
Впитываемость при одностороннем смачивании по методу Кобба 30 г/м <sup>2</sup> (ГОСТ 12605–97, ИСО 2470–77)	21,5	20,0	18,5	16,0	12,0	
Шероховатость $R_a$ образцов для кадров, нм (ГОСТ 2789–73):	750	26,95	12,69	18,25	9,76	11,73
	1500	32,61	17,64	57,01	20,81	16,26
	3500	67,54	26,82	60,91	42,39	23,56

*Примечание.* Здесь и далее: ХЦ — хлопковая целлюлоза, ТЦ — целлюлозная масса из внутреннего слоя коры веток тутового дерева.

Высокоточное отображение параметров шероховатости бумаг в нанометровом диапазоне возможно при использовании метода атомно-силовой микроскопии (АСМ) [21-22]. Исследование шероховатости исследуемых образцов бумаги при использовании сканирующего зондового микроскопа Solver HV (ЗАО NT-MDT, Зеленоград, Россия) в Институте химической физики им. Н.Н. Семёнова РАН (Москва, Россия) показало, что среди образцов, отличающихся по композиционному составу, наименьшей шероховатостью поверхности обладает образец бумаги при 100%-м содержании целлюлозной массы из внутреннего слоя коры веток тутового дерева ( $R_a = 23,56$  нм), затем при добавлении 10 % целлюлозной массы из коры веток тутового дерева ( $R_a = 26,82$  нм) [17].

Метод определения печатных свойств бумаги (ГОСТ 24356–80) распространяется на типографскую, офсетную и мелованную бумагу. Он заключается в запечатывании образца бумаги на пробопечатном устройстве типов FOGRA, Prufbau с последующим измерением оптической плотности оттиска печати для количественной оценки красковосприятости бумаги. Пробопечатные станки, реализующие принцип печати цилиндр — плоскость, позволяют полностью имитировать процесс печати стандартной офсетной печатной машины. Вследствие последовательного нанесения красок триады СМΥК на поверхность бумаги при офсетном способе печати происходит взаимодействие не только между бумагой и краской, но и между увлажняющим раствором и бумагой, что невозможно создать при проведении лабораторных испытаний в соответствии с ГОСТ 24356, ГОСТ 9094. При контроле отклонений печатных свойств бумаги от номинальных используется печатная форма, содержащая тестовую шкалу, что позволяет провести анализ печатных свойств в совокупности и прогнозировать поведение бумаги в печатном процессе [23].

В работе [12] для исследования печатных свойств бумаги при струйном способе печати использован струйный принтер HP Desk Jet 4163 и тестовая шкала. Для оценки граничной четкости белого и черного на тестовой шкале размещены негативные и позитивные точечные элементы с линейным размером сторон от 0,1 мм до 1,3 мм и само изображение.

В настоящей работе для определения красковосприятости бумаги, в композиции которой есть целлюлозная масса из внутреннего слоя коры веток тутового дерева, при струйном способе печати был разработан тест-объект, содержащий такие элементы контроля, как позитивный и негативный текст шрифтом, не имеющем засечек и контрастности, размером от 2 до 11 пунктов, ступенчатый градиционный цветовой переход,

элементы контроля бинарных наложений красок, а также растровое изображение с трудновоспроизводимыми цветами (рис. 1).

На поверхность исследуемых образцов бумаги бесконтактным способом было нанесено изображение тест-объекта с помощью струйного принтера Epson Stylus Photo R270. Для печати использовались оригинальные красочные материалы производства фирмы Epson Inkbank. В целях получения оттисков без искажения и потери информации, одной из причин которых является деформация бумажного листа при изменении его влажности, выполняли необходимые процедуры по акклиматизации бумаги, поддержанию постоянных климатических условий и времени стабилизации печатного изображения. Печать выполнена при соблюдении постоянного режима печати без использования системы управления цветом. Используемый принтер пригоден для печати на карточках, пленках, этикетках, фотобумаге, CD/DVD, глянцевого бумаге, конвертах, матовой бумаге массой от 64 до 300 г/м<sup>2</sup>. Технология печати — пьезоструйная, ее разрешение — 5760×1440 dpi.

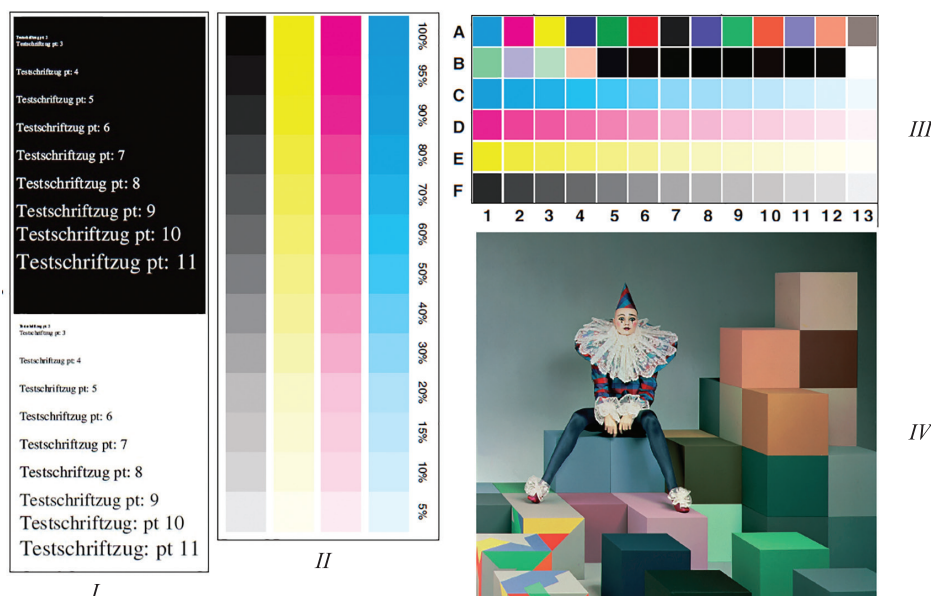
Бумагу испытывали на высыхание чернил, отмарывание и стойкость к воде напечатанного изображения. Высыхание чернил оценивали визуально прижатием пальца к изображению сразу после выхода листа из принтера. Для оценки отмарывания чернил на напечатанное изображение сразу после выхода листа из принтера помещали стопку из 10 листов бумаги и дважды прокатывали резиновым валиком массой 1,5 кг. Стойкость к воде определяли визуально, нанося на изображение каплю воды и удаляя ее после 5 мин выдержки (табл. 2).

Качество воспроизведения элементов шкалы оценивали по значениям оптической плотности на основе 20-польной линейной градиционной шкалы от 5 до 100 % с шагом 5 % для желтого, пурпурного, голубого и черного колорантов, измеренных при использовании денситометра. Среднеквадратическое отклонение в измерениях оптической плотности составило 0,05 Б (табл. 2).

Анализ воспроизведения позитивного и негативного текста и микролиний осуществляли визуально и при использовании лупы с 10-кратным увеличением.

Исследование влияния микрогеометрии поверхности на графическую точность воспроизведения штрихового элемента изображения на экспериментальных образцах бумаги проводили с помощью метода оптической микроскопии на микроскопе Motic BA210.

Микрофотографии воспроизведения штрихового элемента, отпечатанные на разных видах бумаги при масштабе 1:200 мкм, представлены на рис. 2.



**Рис. 1.** Контрольные элементы на тест-объекте: *I* — позитивный и негативный текст шрифтом от 2 до 11 пунктов; *II* — ступенчатый градиционный цветовой переход от 5 до 100 %; *III* — элементы контроля бинарных наложений красок; *IV* — изображение с трудновоспроизводимыми цветами

**Fig. 1.** Control elements on the test object: *I* — positive and negative text in a font from 2 to 11 points; *II* — a step-by-step gradation color transition from 5 to 100 %; *III* — control elements of binary color overlays; *IV* — an image with difficult-to-reproduce colors

Т а б л и ц а 2

**Результаты испытания качества исследуемых образцов бумаги с вариацией композиционного состава для струйного способа печати**

**The results of testing the quality of the studied paper samples with a variation of the composite composition for the inkjet printing method**

Композиционный состав ХЦ:ТЦ, %	Значения оптической плотности				Показатели		
	голубой	пурпурный	желтый	черный	высыхание чернил	отмарывание чернил	стойкость к воде
100:0	0,76	1,20	1,15	1,39	+	–	+
90:10	0,69	1,13	1,38	1,31	+	–	+
80:20	0,56	0,91	1,33	1,31	+	–	+
70:30	0,65	1,13	1,38	1,35	+	–	+
0:100	0,72	1,32	1,48	1,48	+	–	+

Примечание. «+» — чернила высыхают и они стойки к воздействию воды, «–» — нет отмарывания чернил.

Микроскопический анализ оттисков печати, отпечатанных струйным способом, показал следующее: буква Т, относящаяся к рубленным шрифтам, т. е. не имеющая засечек, на образцах бумаги *a*, *b* и *e* (см. рис. 2) имеет четкий контур без потерь каких-либо мелких деталей. Расплывы краски вдоль волокон наблюдаются у образцов бумаги *в*, *г* и *д*. Поверхность штрихов матовая, блеск отсутствует, штрихи окрашены равномерно, точечная структура не наблюдается.

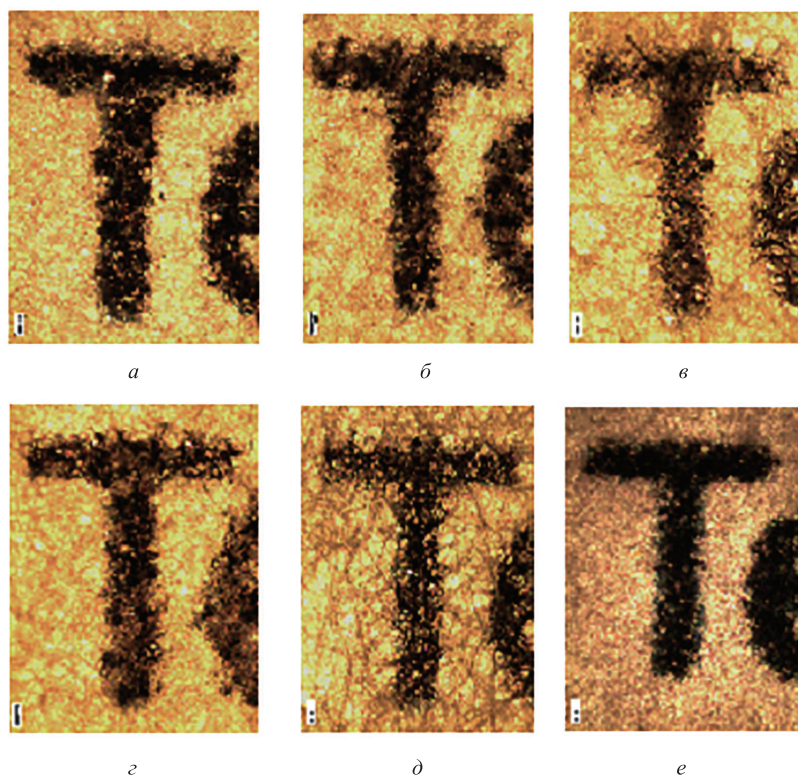
Ступенчатый градиционный цветовой переход характеризовали по значениям оптической плотности, измеренной с помощью денситометра Techkon (режим измерения — на отраженном свете; диапазон измерения плотности — 0,00–2,50 D ± 0,01 D; апертура — стандартная 3 мм (опционально:

1,5 × 1,5 мм и 2,5 × 1 мм); источник света — газовая лампа, тип А (2856 ± 100 К), значения оптической плотности для основных цветов представлены в табл. 3.

Значения оптической плотности для основных цветов субстративного синтеза (голубого, пурпурного, желтого) характеризовали максимальную толщину красочного слоя на поверхности образцов бумаги *д* — при 100%-м ТЦ, *б* — при 10%-м добавлении ТЦ и *г* — при 30%-м добавлении ТЦ (рис. 3).

Объясняется это тем, что микрогеометрия поверхности этих образцов бумаги, определенная с помощью метода атомно-силовой микроскопии, который является достаточно универсальным и дает объективную характеристику шероховатости





**Рис. 2.** Микрофотографии оттисков печати, полученных при струйном способе печати для различных образцов бумаги: *a* — 100 % ХЦ; *б* — 90 % ХЦ:10 % ТЦ; *в* — 80 % ХЦ:20% ТЦ; *г* — 70 % ХЦ:30 % ТЦ; *д* — 100 % ТЦ; *е* — офисная бумага, взятая для сравнения

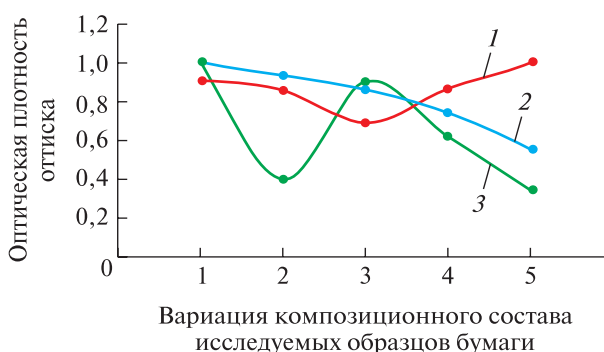
**Fig. 2.** Micrographs of print impressions obtained by the inkjet printing method for various paper samples: *a* — 100 % CC; *б* — 90 % CC:10 % MC; *в* — 80 % CC:20 % MC; *г* — 70 % CC:30 % MC; *д* — 100 % MC; *е* — office paper taken for comparison

**Т а б л и ц а 3**  
**Результаты испытания качества офисной бумаги, взятой для сравнения**  
**The results of testing the quality of office paper taken for comparison**

Цвет краски	Значения оптической плотности
Голубой	0,83
Пурпурный	0,87
Желтый	1,04
Черный	0,96

(см. табл. 1), способствовала передаче печатной информации без потерь и искажений.

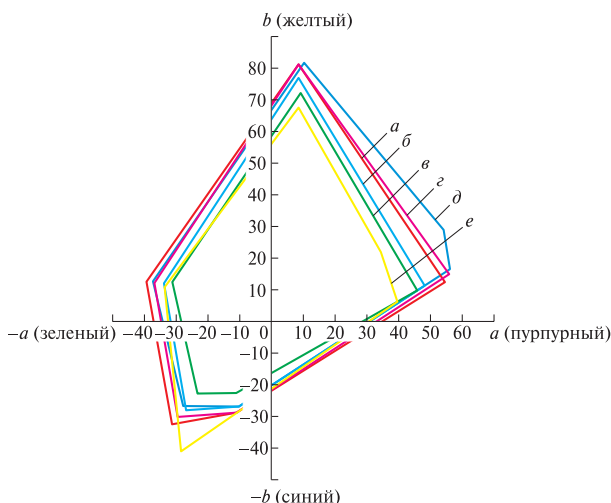
Оценка качества цветовоспроизведения осуществлялась по методу классической колориметрии (МКО). Для каждого образца шкалы вычислялись координаты цвета в системе XYZ с помощью МКО. Измерения проводились спектрофотометром Gretag Macbeth Eye-One. Ввиду нелинейности цветового пространства XYZ был осуществлен перевод координат цвета в систему CIE L\*a\*b\* МКО. Цветовоспроизведение оценивали путем сравнения площадей шестиугольника,



**Рис. 3.** Зависимость красковосприятости исследуемых образцов бумаги с вариацией композиционного состава: *1* — оптической плотности; *2* — от впитывающей способности; *3* — шероховатости поверхности бумаги  
**Fig. 3.** The dependence of the color perception of the studied paper samples with a variation of the composite composition: *1* — the optical density; *2* — the absorbency; *3* — the roughness of the paper surface

отображенного на диаграмме цветности a\*b\* по стандартной методике.

Вершинами шестиугольника являются точки основных цветов субстративного синтеза (голубой,



**Рис. 4.** Цветовой охват оттисков, отпечатанных на струйном принтере Epson R270: *a* — 100 % ХЦ; *б* — 90 % ХЦ:10 % ТЦ; *в* — 80 % ХЦ:20 % ТЦ; *г* — 70 % ХЦ:30 % ТЦ; *д* — 100 % ТЦ; *е* — офисная бумага (для сравнения)

**Fig. 4.** Color coverage of prints printed on an Epson R270 inkjet printer: *a* — 100 % CC; *б* — 90 % CC:10 % MC; *в* — 80 % CC:20 % MC; *г* — 70 % CC:30 % MC; *д* — 100 % MC; *е* — office paper (for comparison)

пурпурный, желтый) и точки цветов, образующихся при их попарном наложении (синий, зеленый, красный). Показатели цветового охвата позволяют оценить максимальное количество цветов, которые способна воспроизводить печатная система и поверхность бумаги: чем больше площадь фигуры, тем больше число получаемых цветов.

По измеренным данным в системе координат цветового пространства CIE L\*a\*b\* по МКО строилось тело цветового охвата (рис. 4).

Как видно из рис. 4, поверхность экспериментального образца бумаги *д*, где композиционный состав на 100 % из целлюлозной массы внутреннего слоя коры веток тутового дерева, обладает наименьшими впитывающей способностью и шероховатостью, у него степень воспроизведения цветов лучше, чем у остальных образцов. Затем по уменьшению цветового охвата следуют образцы бумаги *г* при 30%-м, *б* при 10%-м добавлении целлюлозной массы внутреннего слоя коры веток тутового дерева, шероховатость поверхности которых привела к незначительному ослаблению цвета краски на оттиске печати.

### Выводы

Изучение процесса переноса водных чернил Epson Inkbank на примере пяти образцов бумаги на основе хлопковой целлюлозы из линта с добавлением целлюлозной массы из внутреннего слоя коры веток тутового дерева, и образца офисной бумаги, взятой для сравнения, показало, что пигменты водных чернил в зависимости от

микрогеометрии поверхности бумаги по-разному проникали вглубь. Максимальную толщину красочного слоя, выраженную через значения оптической плотности для основных цветов субстративного синтеза, и лучшую цветопередачу обеспечила поверхность образца бумаги *д* (см. рис. 2) при 100%-м составе из целлюлозной массы внутреннего слоя коры веток тутового дерева, обладающей наименьшей впитывающей способностью и шероховатостью, затем образец бумаги *б* при 10%-м и бумаги *г* при 30%-м добавлении целлюлозной массы внутреннего слоя коры веток тутового дерева.

По результатам микроскопического и денситометрического анализа рекомендуем протестировать данные образцы бумаги на струйных принтерах, использующих пигментные чернила, менее требовательные к поверхности бумаги или при способах печати, не использующих маловязкие печатные краски.

### Список литературы

- [1] Умаров Ф.Н. Способ получения хлопковой целлюлозы: Патент РУз. № 4565 / Расмий ахборотнома, 1997. № 3.
- [2] Алимова Х.А. Основы безотходной технологии переработки натурального шелка: дис. ... д-ра техн. наук. Ташкент: Изд-во Ташкентского института текстильной и легкой промышленности, 1994. 264 с.
- [3] Бабаханова Х.А. Печатно-технические свойства бумаг с компонентами волокон шелка и кенафа: дис. ... канд. техн. наук. Ташкент: Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности, 2000. 132 с.
- [4] Бабаханова Х.А., Алимова Х.А. Бумага из отходов текстильной промышленности // Полиграфия, 2000. № 1. С. 96–97.
- [5] Камалова С.Р., Ешбаева У.Ж., Камилова С.Д. Разработка оптимальных условий подготовки отходов кокономотального производства для изготовления бумаги // Проблемы текстиля, 2010. № 3. С. 66–67.
- [6] Мирзаева М.Б., Бабаханова Х.А. Факторы, влияющие на специфические свойства бумаги конкретного назначения // Проблемы полиграфии и издательского дела, 2013. № 2. С. 13–17.
- [7] Усманов А., Худойбердиева Д.Б. Изучение возможностей получения целлюлозы из однолетних растений // Проблемы текстиля, 2010. № 2. С. 80–81.
- [8] Бабаханова Х.А. Система «сырье — бумага — оттиск», обеспечивающая заданные печатные свойства бумаги из вторичных волокнистых материалов. Ташкент: Узбекистан, 2014. 152 с.
- [9] Набиев Д.С., Набиева И.А., Бабаханова Х.А., Шахидова Ф.Н. Способ получения целлюлозы: Патент РУз № IAP 04879 / Расмий ахборотнома, 2014.
- [10] Набиев Д.С., Набиева И.А., Бабаханова Х.А., Шахидова Ф.Н., Галимова З.Д. Состав для изготовления бумаги: Патент РУз № IAP 04981 / Расмий ахборотнома, 2014. № 4.
- [11] Фентон Ховорд М. Основы цифровой печати. М.: Изд-во Московского государственного университета печати, 2004. 144 с.
- [12] Мартыянова О.С., Кононов Г.Н., Говязин И.О. Исследование свойств бумаги для струйной печати // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2008. № 6. С. 88–92.

- [13] Трачук А.В., Павлов Ю.В., Натеткова Г.Я., Артемов В.В., Андрионов Д.Н., Тихонов А.В. Способ изготовления бумаги для струйной печати с пигментированным покрытием: Патент RU № 2264493, 20.11.2005.
- [14] Дунаев Д.В. Системный подход к обеспечению требуемых печатных свойств бумаги на основе информации о качестве печати: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского государственного технического университета растительных полимеров, 2006. 20 с.
- [15] Бабаханова Х.А., Галимова З.К., Абдуназаров М.М., Исмаилов И.И. Целлюлозная масса из коры веток тутовника для бумажной отрасли // ИВУЗ Лесной журнал, 2020. № 5. С. 193–200.  
DOI: 10.37482/0536-1036-2020-5-193-200
- [16] Бабаханова Х.А., Галимова З.К., Абдуназаров М.М., Исмаилов И.И. Свойства бумаги, в составе которой целлюлозная масса из веток туты // Межвузовский научный конгресс. М.: Высшая школа, 2020. С. 118–122.
- [17] Бабаханова Х.А., Галимова З.К., Абдуназаров М.М., Исмаилов И.И. Исследование шероховатости бумаги из вторичного сырья методом атомно-силовой микроскопии // Научно-технический вестник Информационных технологий, механики и оптики, 2020, Т.20, № 5. С. 661–666. DOI: 10.17586/2226-1494-2020-20-5-661-666
- [18] Бабаханова Х.А., Галимова З.К., Абдуназаров М.М., Исмаилов И.И. Структура бумаги с добавлением целлюлозной массы из коры веток тутовника // Химия растительного сырья, 2020. № 4. С. 261–266.  
DOI: 10.14258/jcrpm.2020047761
- [19] Михалева М.Г., Втюрина Д.Н., Политенкова Г.Г., Сарвадий С.Ю., Никольский С.Н., Стовбун С.Н., Жолиерович Н.В., Герман Н.А., Николайчик И.В. Макро- и микроскопический подход к измерению шероховатости поверхности бумажных материалов // Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов: материалы V Междунар. науч.-техн. конф., посвященной памяти профессора В.И. Комарова, Архангельск 11–14 сентября 2019. Архангельск: Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, 2019. С. 54–59.
- [20] Михалева М.Г., Втюрина Д.Н., Никольский С.Н., Стовбун С.В., Жолнерович Н.В., Герман Н.А., Николайчик И.В. Атомно-силовая микроскопия — современный метод определения шероховатости целлюлозно-бумажной продукции // Междунар. науч.-техн. конф. «Химия и химическая технология переработки растительного сырья», Минск, 10–12 октября 2018. Минск: Белорусский государственный технологический университет, 2018. С. 126–130.
- [21] Жуков М.В. Контроль структуры различных видов бумаги методом атомно-силовой микроскопии // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики, 2014. № 1 (89). С. 44–49.
- [22] Кирсанкин А.А., Михалева М.Г., Никольский С.Н., Мусохранова А.В., Стовбун С.В. Прямой метод контроля качества поверхности мелованных видов бумаги // Химия растительного сырья, 2016. № 4. С. 157–161. DOI: 14258/jcrpm.2016041415.
- [23] Новосельская О.А., Темрук В.И., Пенкин А.А., Соловьева Т.В. Способ контроля отклонений печатных свойств бумаги от номинальных. Патент ВУ 15509 С1 2012.02.28. URL: <https://elib.belstu.by/bitstream/123456789/9076/1/15509.pdf> (дата обращения 05.03.2021).

## Сведения об авторах

**Бабаханова Халима Абишевна** — д-р техн. наук, профессор кафедры технологии полиграфического и упаковочного процессов Ташкентского института текстильной и легкой промышленности, [halima300@inbox.ru](mailto:halima300@inbox.ru)

**Галимова Зулфия Камиловна** — ассистент кафедры технологии полиграфического и упаковочного процессов Ташкентского института текстильной и легкой промышленности, [z.galimova8282@mail.ru](mailto:z.galimova8282@mail.ru)

**Абдуназаров Мансур Мехридинович** — ст. преподаватель кафедры технологии полиграфического и упаковочного процессов Ташкентского института текстильной и легкой промышленности, [abdunazarov.1977@mail.ru](mailto:abdunazarov.1977@mail.ru)

**Исмаилов Икромжон Икромжон угли** — докторант кафедры химической технологии Наманганского инженерно-технологического института, [ikromzhon.ismailov@bk.ru](mailto:ikromzhon.ismailov@bk.ru)

Поступила в редакцию 19.03.2021.

Принята к публикации 23.08.2021.



## PAPER TRAPPING RESEARCH AFTER ADDING MULBERRY TREE BRANCHES BARK CELLULOSE PULP

Kh.A. Babakhanova<sup>1</sup>, Z.K.Galimova<sup>1</sup>, M.M.Abdunazarov<sup>1</sup>, I.I. Ismailov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Tashkent Institute of Textile and Light Industry, 5, Shokhzhakhon st., 100100, Tashkent, Uzbekistan

<sup>2</sup>Namangan Technology Institute, 7, Kasansay st., 160115, Namangan, Uzbekistan

halima300@inbox.ru

The paper presents the study results of paper trapping during inkjet printing which contains cellulose pulp from the inner bark layer of mulberry branches. The connection between the print density and the paper surface structure, in particular, water absorption and raggedness, is established. The study of the stepwise gradation transition and color rendition, the graphic accuracy of reproduction of the slur element of the image is carried out. Densitometric and microscopic analysis of the impressions printed on an inkjet printer was performed. It was revealed that the pigments of water ink, depending on the microgeometry of the paper surface, penetrated deeper in different ways. It was found that the maximum thickness of the paint layer, expressed using the optical density values for the primary colors of the subtractive synthesis, and the best color reproduction were provided by the surface of the paper sample with 100 % addition of cellulose pulp from the inner layer of the bark of mulberry tree branches, which has the least roughness, according to the scanning probe microscope Solver HV. Recommendations are given for testing paper data on inkjet printers that use pigment inks and are less demanding on the surface properties of paper, or by printing methods that do not use low-viscosity printing inks.

**Keywords:** color perception, cellulose pulp, mulberry tree branch bark, paper, inkjet printing, optical density, color reproduction

**Suggested citation:** Babakhanova Kh.A., Galimova Z.K., Abdunazarov M.M., Ismailov I.I. *Issledovanie kraskovospriyatosti bumagi s dobavleniem tsellyuloznoy massy iz kory vetok tutovogo dereva* [Paper trapping research after adding Mulberry tree branches bark cellulose pulp]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 5, pp. 97–105. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-5-97-105

### References

- [1] Umarov F.N. *Sposob polucheniya khlopkovoy tsellyulozy* [Method for producing cotton cellulose]. Patent RUz. No. 4565. Rasmiy Akhborotnoma, 1997, no. 3.
- [2] Alimova Kh.A. *Osnovy bezotkhodnoy tekhnologii pererabotki natural'nogo shelka* [Fundamentals of waste-free technology for processing natural silk] Dis. Dr. Sci. (Tech.). Tashkent: TITLP, 1994, 264 p.
- [3] Babakhanova Kh.A. *Pechatno-tekhnicheskie svoystva bumag s komponentami volokon shelka i kenafa* [Printing and technical properties of papers with components of silk and kenaf fibers]. Dis. Cand. Sci. (Tech.). Tashkent: TITLP, 2000, 132 p.
- [4] Babakhanova Kh.A., Alimova Kh.A. *Bumaga iz otkhodov tekstil'noy promyshlennosti* [Paper made from wastes of the textile industry]. *Polygraphy*, 2000, no. 1, pp. 96–97.
- [5] Kamalova S.R., Eshbaeva U.Zh., Kamilova S.D. *Razrabotka optimal'nykh usloviy podgotovki otkhodov kokonomotal'nogo proizvodstva dlya izgotovleniya bumagi* [Development of optimal conditions for the preparation of waste cocoon-winding production for the manufacture of paper]. *Problemy tekstilya* [Problems of textiles], 2010, no. 3, pp. 66–67.
- [6] Mirzaeva M.B., Babakhanova Kh.A. *Faktory, vliyayushchie na spetsificheskie svoystva bumagi konkretnogo naznacheniya* [Factors Affecting the Specific Properties of Paper for a Specific Purpose]. *Problemy poligrafii i izdatel'skogo dela* [Problems of Printing and Publishing], 2013, no. 2, pp. 13–17.
- [7] Usmanov A., Khudoyberdieva D.B. *Izuchenie vozmozhnostey polucheniya tsellyulozy iz odnoletnikh rasteniy* [Study of the possibilities of obtaining cellulose from annual plants]. *Problemy tekstilya* [Problems of textiles], 2010, no. 2, pp. 80–81.
- [8] Babakhanova Kh.A. *Sistema «syr'e — bumaga — ottisk», obespechivayushchaya zadannye pechatnye svoystva bumagi iz vtorichnykh voloknistykh materialov* [The system «raw material – paper – print», providing the specified printing properties of paper from recycled fibrous materials]. Tashkent: Uzbekistan, 2014, 152 p.
- [9] Nabiev D.S., Nabieva I.A., Babakhanova Kh.A., Shakhidova F.N. *Sposob polucheniya tsellyulozy* [Method of obtaining cellulose]. Patent RUz No. IAP 04879. Rasmiy akhborotnoma, 2014.
- [10] Nabiev D.S., Nabieva I.A., Babakhanova Kh.A., Shakhidova F.N., Galimova Z.D. *Sostav dlya izgotovleniya bumagi* [Composition for making paper]. Patent RUz No. IAP 04981. Rasmiy akhborotnoma, 2014.
- [11] Fenton Howord M. *Osnovy tsifrovoy pechati* [Fundamentals of digital printing]. Moscow: Print-Media Center, 2004, 144 p.
- [12] Mart'yanova O.S., Kononov G.N., Govyazin I.O. *Issledovanie svoystv bumagi dlya struynoy pechati* [Investigation of the properties of paper for inkjet printing]. *Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik*, 2008, no. 6, pp. 88–92.
- [13] Trachuk A.V., Pavlov Yu.V., Natatkova G.Ya., Artemov V.V., Andriyev D.N., Tikhonov A.V. *Sposob izgotovleniya bumagi dlya struynoy pechati s pigmentirovannym pokrytiem* [A method of manufacturing inkjet paper with a pigmented coating]. Patent RU no. 2264493, 2005.
- [14] Dunaev D.V. *Sistemnyy podkhod k obespecheniyu trebuyemykh pechatnykh svoystv bumagi na osnove informatsii o kachestve pechati* [A systematic approach to ensuring the required printing properties of paper based on information about the print quality]. Dis. Cand. Sci. (Tech.). St. Petersburg: SPGTURP, 2006, 20 p.
- [15] Babakhanova Kh.A., Galimova Z.K., Abdunazarov M.M., Ismailov I.I. *Tsellyuloznaya massa iz kory vetok tutovnika dlya bumazhnoy otrasli* [Pulp from the bark of mulberry branches for the paper industry]. *Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal)*, 2020, no. 5, pp. 193–200. DOI: 10.37482 / 0536-1036-2020-5-193-200

- [16] Babakhanova Kh.A., Galimova Z.K., Abdunazarov M.M., Ismailov I.I. *Svoystva bumagi, v sostave kotoroy tsellyuloznaya massa iz vetok tuta* [Properties of paper containing pulp from mulberry branches]. Mezhevuzovskiy nauchnyy kongress [Interuniversity scientific congress]. Moscow: Higher school, 2020, pp. 118–122.
- [17] Babakhanova Kh.A., Galimova Z.K., Abdunazarov M.M., Ismailov I.I. *Issledovanie sherokhovatosti bumagi iz vtorichnogo syr'ya metodom atomno-silovoy mikroskopii* [Investigation of the roughness of recycled paper by atomic force microscopy]. Nauchno-tehnicheskii vestnik Informatsionnykh tekhnologiy, mekhaniki i optiki [Scientific and Technical Bulletin of Information Technologies, Mechanics and Optics], 2020, v. 20, no. 5, pp. 661–666. DOI: 10.17586/2226-1494-2020-20-5-661-666
- [18] Babakhanova Kh.A., Galimova Z.K., Abdunazarov M.M., Ismailov I.I. *Struktura bumagi s dobavleniem tsellyuloznoy massy iz kory vetok tutovnika* [The structure of paper with the addition of cellulose mass from the bark of mulberry branches]. Khimiya rastitel'nogo syr'ya [Chemistry of vegetable raw materials], 2020, no. 4, pp. 261–266. DOI: 10.14258/jcpm.2020047761
- [19] Mikhaleva M.G., Vtyurina D.N., Politenkova G.G., Sarvadiy S.Yu., Nikol'skiy S.N., Stovbun S.N., Zholnerovich N.V., German N.A., Nikolaychik I.V. *Makro- i mikroskopicheskiy podkhod k izmereniyu sherokhovatosti poverkhnosti bumazhnykh materialov* [Macro- and microscopic approach to measuring the surface roughness of paper materials]. Problemy mekhaniki tsellyulozno-bumazhnykh materialov: materialy V Mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii, posvyashchennoy pamyati professora V.I. Komarova [Problems of the mechanics of pulp and paper materials: materials of the V International Scientific and Technical Conference dedicated to the memory of Professor V.I. Komarova], Arkhangel'sk 11–14.09.2019. Arkhangel'sk: NArFU, 2019, pp. 54–59.
- [20] Mikhaleva M.G., Vtyurina D.N., Nikol'skiy S.N., Stovbun S.V., Zholnerovich N.V., German N.A., Nikolaychik I.V. *Atomno-silovaya mikroskopiya — sovremennyy metod opredeleniya sherokhovatosti tsellyulozno-bumazhnoy produktii* [Atomic force microscopy is a modern method for determining the roughness of pulp and paper products]. Mezhdunarodnaya nauchno-tehnicheskaya konferentsiya «Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya pererabotki rastitel'nogo syr'ya» [International Scientific and Technical Conference «Chemistry and Chemical Technology of Processing Plant Raw Materials»], Minsk, October 10–12, 2018. Minsk: Belarusian State Technological University, 2018, pp. 126–130.
- [21] Zhukov M.V. *Kontrol' struktury razlichnykh vidov bumagi metodom atomno-silovoy mikroskopii* [Control of the structure of various types of paper by atomic force microscopy]. Nauchno-tehnicheskii vestnik informatsionnykh tekhnologiy, mekhaniki i optiki [Scientific and technical bulletin of information technologies, mechanics and optics], 2014, no. 1 (89), pp. 44–49.
- [22] Kirsankin A.A., Mikhaleva M.G., Nikol'skiy S.N., Musokhrapova A.V., Stovbun S.V. *Pryamoy metod kontrolya kachestva poverkhnosti melovannykh vidov bumagi* [Direct method of surface quality control of coated types of paper]. Khimiya rastitel'nogo syr'ya [Chemistry of vegetable raw materials], 2016, no. 4, pp. 157–161. DOI: 14258/jcpm.2016041415
- [23] Novosel'skaya O.A., Temruk V.I., Penkin A.A., Solov'eva T.V. *Sposob kontrolya otkloneniy pechatnykh svoystv bumagi ot nominal'nykh* [Method of controlling deviations of the printing properties of paper from the nominal]. Patent BY 15509 C1 2012.02.28. Available at: <https://elib.belstu.by/bitstream/123456789/9076/1/15509.pdf> (accessed 05.03.2021).

## Authors' information

**Babakhanova Khalima Abishevna** — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the Department of Technology of printing and packaging production of the Tashkent Institute of Textile and Light Industry, [halima300@inbox.ru](mailto:halima300@inbox.ru)

**Galimova Zulfiya Kamilovna** — Assistant of the Department of Technology of printing and packaging production of the Tashkent Institute of Textile and Light Industry, [z.galimova8282@mail.ru](mailto:z.galimova8282@mail.ru)

**Abdunazarov Mansur Mekhridinovich** — Senior Lecturer of the Department of Technology of printing and packaging production of the Tashkent Institute of Textile and Light Industry, [abdunazarov.1977@mail.ru](mailto:abdunazarov.1977@mail.ru)

**Ismailov Ikromzhon Ikromzhon ugli** — Doctoral Cand. of the Department of Chemical technology of the Namangan Technology Institute, [ikromzhon.ismailov@bk.ru](mailto:ikromzhon.ismailov@bk.ru)

Received 19.03.2021.

Accepted for publication 23.08.2021.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ СОСТАВОВ ЦЕМЕНТОГРУНТОВ ПРИ УСТРОЙСТВЕ СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ БУРОСМЕСИТЕЛЬНЫМ СПОСОБОМ

Н.Г. Серегин<sup>1</sup>, В.И. Запруднов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), 129337, г. Москва, Ярославское ш., д. 26

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

SereginNG@mgsu.ru

Представлен анализ структур грунтов на территории Западной Сибири Российской Федерации. Рассмотрены условия добычи грунтов для сооружения фундаментов. Обоснована целесообразность применения лессовых грунтов для устройства свайных фундаментов с применением цементогрунтов. Проанализирован метод оценки физико-механических свойств грунтов для устройства свайных фундаментов буросмесительным способом. Определен основной показатель грунта — мера его хрупкости. Изучена кривая зависимости напряжения в материале грунта от деформации. Исследованы физические показатели лессовидных грунтов различных территориальных районов Российской Федерации. Даны рекомендации формирования оптимального состава грунта для укрепления его цементом при устройстве свайных фундаментов буросмесительным способом.

**Ключевые слова:** свайный фундамент, цементогрунты, буросмесительный способ, лессовые грунты, напряжение, деформация, мера хрупкости, фракции песка, число пластичности

**Ссылка для цитирования:** Серегин Н.Г., Запруднов В.И. Определение оптимальных составов цементогрунтов при устройстве свайных фундаментов буросмесительным способом // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 5. С. 106–110. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-5-106-110

Устройству свайных фундаментов с применением цементогрунтов буросмесительным способом посвящены многие научные работы [1–7], поскольку на территории Западной Сибири преобладают связные грунты: глины, суглинки, реже супеси. Несвязные грунты, к которым относятся песчаные и гравелистые, встречаются на относительно небольших территориях. Пригодные для строительства каменные материалы размещены на территории Западной Сибири весьма неравномерно. Массивные каменные породы в пределах Западно-Сибирской низменности практически недоступны для разработки, так как залегают на глубине до 1000...3000 м и более [8–15]. Обширные территории в южной части Западной Сибири занимают лессовые грунты. Их северная граница проходит примерно по линии Томск — Тюмень [16–20]. Лессовые грунты представлены главным образом глинами и суглинками. Они обладают благоприятными физическими и химическими свойствами, необходимыми для устройства свайных фундаментов с применением цементогрунтов, в связи с тем, что в своем составе содержат небольшое количество глинистых частиц и легкорастворимых солей, а также обладают щелочной реакцией среды [21–27]. Высокая структурная пористость лессовых грунтов, имеющих рыхлое сложение, облегчает их разработку и измельчение. Наиболее пригодными к укреплению цементом признаны лессовые грунты легкого гранулометрического состава, в том числе легкие суглинки и супеси, которые

в силу наличия в их составе карбоната кальция обладают высокими показателями прочности и морозостойкости.

### Цель работы

Цель работы — установление закономерностей по основным прочностным характеристикам грунтов при устройстве свайных фундаментов с применением цементогрунтов буросмесительным способом.

### Материалы и методы

Для определения оптимального состава цементогрунта при устройстве свай буросмесительным способом проведены экспериментальные исследования в целях установления основных прочностных характеристик грунтов. Механическое

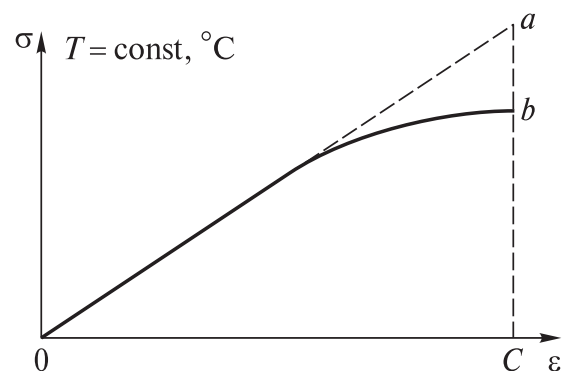


Рис. 1. Зависимость напряжения  $\sigma$  от деформации  $\varepsilon$   
Fig. 1. Dependence of the stress  $\sigma$  on the strain  $\varepsilon$



состояние материалов с учетом фактора времени определяет характер зависимости напряжение — деформация. Мера хрупкости определена методом анализа кривой зависимости напряжения от деформации. По результатам испытаний образцов материала при расчетной температуре можно построить график зависимости  $\sigma = f(\epsilon)$  (рис. 1).

На рис. 1 линией *0a* экстраполирован линейный участок нагружения кривой *0b*. За меру хрупкости грунта принято отношение двух площадей, а именно фактической площади под кривой *0bC* к теоретически возможной площади *0aC*

$$\chi = \frac{\int_0^{\epsilon_p} \sigma(\epsilon) d\epsilon}{\int_0^{\epsilon_p} A\epsilon d\epsilon} = \frac{A\epsilon_p^2}{2 \int_0^{\epsilon_p} \sigma(\epsilon) d\epsilon}, \quad (1)$$

где  $\chi$  — мера хрупкости грунта;

*A* — угловой коэффициент линейного участка кривой  $\sigma = f(\epsilon)$ .

Критерием его хрупкости грунта служить кривизна зависимости  $\sigma = f(\epsilon)$ , определяемая по формуле

$$k = \frac{\frac{d^2\sigma}{d\epsilon^2}}{\left[1 + \left(\frac{d\sigma}{d\epsilon}\right)^2\right]^{\frac{3}{2}}}. \quad (2)$$

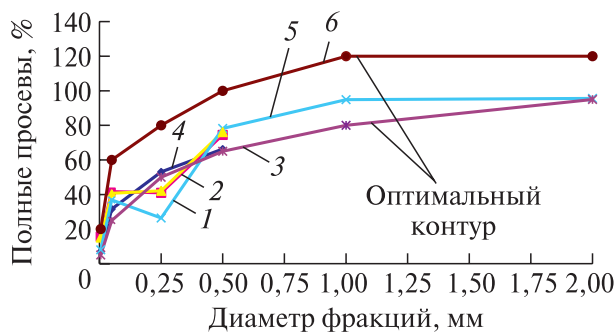
Для определения кривизны зависимости  $\sigma = f(\epsilon)$  ее необходимо представить в аналитическом виде и, дважды продифференцировав, подставить в формулу (2). Однако кривизна, являясь функцией деформации, изменяется от нуля на начальном прямолинейном участке нагружения до своего максимального значения в момент, предшествующий разрушению. Из этого следует, что необходимым условием при оценке критерия хрупкости должен быть учет характера кривой и его изменения на всем деформационном интервале от начала нагружения до разрушения. Это условие можно реализовать путем определения площади под кривой  $\sigma = f(\epsilon)$  с включением ее в критерий.

По своему физическому смыслу мера хрупкости грунта является энергетической величиной, поскольку отношение фактической площади под кривой *0bC* к теоретически возможной площади *0aC* можно рассматривать, как отношение энергий — фактически затраченной энергии на разрушение с учетом ее рассеивания к энергии идеального упругого деформирования. Чем меньше отличаются значения этих площадей, тем выше хрупкость грунта. В исключительном случае, при линейности зависимости  $\sigma = f(\epsilon)$  вплоть до разрушения, рассмотренные выше площади равны между собой, т. е. мера хрупкости составляет  $\chi = 1$ , что соответствует абсолютно хрупкому состоянию грунта, уменьшающемуся с уменьшением меры хрупкости  $\chi$ .

### Физические показатели грунтов

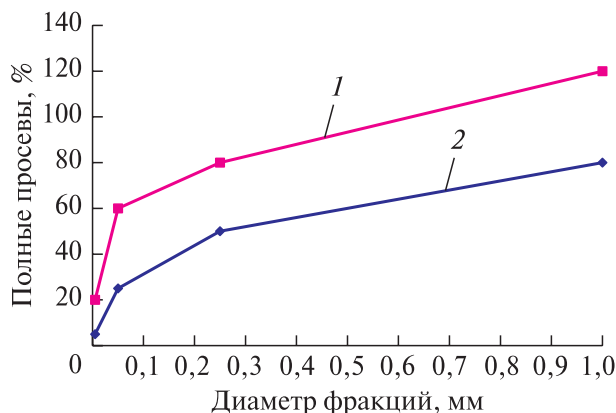
#### Physical characteristics of soils

Наименование грунта	Частные остатки на ситах, %								Характеристика влажности, %		
	2,0–1,0	1,0–0,5	0,5–0,25	0,25–0,1	0,1–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005	Граница текучести	Граница раскатывания	Число пластичности
Омская супесь легкая	–	–	8,2	23,5	29,6	18,3	13,3	7,05	17,8	14,3	3,5
Омский суглинок легкий пылеватый	–	–	1,7	13,5	27,5	31,4	10,3	15,7	31,0	18,1	12,9
Новосибирский суглинок легкий	–	–	2,03	13,8	28,4	30,0	10,7	15,1	–	–	–
Кировская супесь	4,4	5,2	16,7	13,8	12,6	21,2	18,2	8,05	32,6	24,8	7,8
Кировский песок	0,5	5,7	52,1	27,3	12,0	2,26	–	–	–	–	–



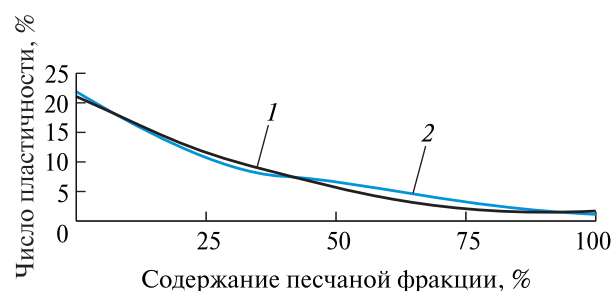
**Рис. 2.** Оптимальный состав грунтовой смеси: 1 — нижний оптимальный контур; 2 — верхний оптимальный контур; 3 — Омская супесь, легкая; 4 — Новосибирский суглинок, легкий; 5 — Омский суглинок, пылеватый; 6 — Кировская супесь

**Fig. 2.** Optimal compositions of the soil mixture: 1 — the lower optimal contour; 2 — the upper optimal contour; 3 — Omsk sandy loam, light; 4 — Novosibirsk loam, light; 5 — Omsk loam, dusty; 6 — Kirov sandy loam



**Рис. 3.** Оптимальный контур грунтов, применяемых для изготовления цементогрунтовых свай: 1 — нижний оптимальный контур; 2 — верхний оптимальный контур

**Fig. 3.** The optimal contour of the soils used for the manufacture of cement-ground piles: 1 — the lower optimal contour; 2 — the upper optimal contour



**Рис. 4.** Зависимость числа пластичности от содержания песчаной фракции, %: 1 — экспериментальная кривая; 2 — кривая, аппроксимированная функцией  $Y = 0,0023x^2 - 0,427x + 21,137$

**Fig. 4.** The dependence of the plasticity number on the content of the sand fraction, %: 1 — the experimental curve; 2 — the curve approximated by the function  $Y = 0,0023x^2 - 0,427x + 21,137$

## Результаты исследования

По мере хрупкости грунта можно судить о его структуре. Кривая зависимости меры хрупкости грунта от некоторого его физического параметра дает возможность утверждать, что ординатой на ней является наличие кристаллизационной структуры в материале исследуемого грунта, а часть, расположенная выше кривой отражает коагуляционную структуру в материале грунта.

Физико-механические свойства цементогрунта во многом зависят от его гранулометрического состава. В таблице представлены результаты исследования некоторых физических показателей лессовидных грунтов различных районов Российской Федерации.

Анализируя физические свойства исследованных лессовидных грунтов, представленные в таблице, следует обратить внимание на то, что у большинства из них не обнаружена фракция крупнозернистого песка от 0,5 до 2,0 мм, а содержание основных скелетных фракций цементогрунта, в частности частиц средней крупности, незначительное (рис. 2).

Однако, гранулометрический состав природных грунтов, приведенный на рис. 2, не укладывается в оптимальный контур, представленный на рис. 3.

При подборе оптимального состава грунта для укрепления его цементом при устройстве свайных фундаментов буросмесительным способом в суглинках необходимо вводить различное количество песка. Такой подход к моделированию различных типов грунтов возможен за счет изменения их числа пластичности. Число пластичности грунта является функцией от содержания в суглинке песчаной фракции, что подтверждает рис. 4.

Прочность при сжатии грунта достигла почти 7 МПа после введения в суглинок в количестве 25 % массы песка и практически не изменялась до введения 80 %.

## Выводы

1. Основным показателем грунта является его мера хрупкости.
2. По своему физическому смыслу мера хрупкости грунта является энергетической величиной.
3. Рассмотренный метод анализа зависимости напряжения от деформации позволяет качественно оценивать меру хрупкости грунта.
4. Физико-механические свойства цементогрунта во многом зависят от гранулометрического состава грунта.
5. При устройстве свайных фундаментов буросмесительным способом, в суглинках необходимо вводить различное количество песка.
6. Число пластичности грунта является функцией от содержания в суглинке песчаной фракции.

7. После введения в суглинок по массе 25 % песка прочность при сжатии грунта достигает почти 7 МПа.

## Список литературы / References

- [1] Seregin N. An integrated way to improve the properties of soil-cement pile foundations // J. E3S Web of Conferences, 2020, no. 157, p. 06006.
- [2] Seregin N.G. Feasibility for the implementation of cement piles // J. OP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020, no. 953, p.012093.
- [3] Серегин Н.Г., Запруднов В.И. Исследования повышения несущей способности грунтов оснований методом цементации // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 5. С. 104–108.  
Seregin N.G., Zaprudnov V.I. *Issledovaniya povysheniya nesushchey sposobnosti gruntov osnovaniy metodom tsementatsii* [Research of properties of cement-soil piles of foundations of buildings and structures]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 5, pp. 104–108. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-5-104-108
- [4] Ang J.B., Fredriksson P.G. Trade, Global Policy and the Environment: New Evidence and Issues // J. of Comparative Economics, 2018, no. 46, pp. 616–633.
- [5] Garmanov G., Urazaeva N. The paper presents design and calculation of cost effectiveness of various types of foundations on the example of the city of Vologda // Procedia Engineering, 2015, no. 117, pp. 465–475.
- [6] Aguiar dos Santos R., Rogério Esquivel E. Saturated anisotropic hydraulic conductivity of a compacted lateritic soil // J. of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 2018, no. 10, pp. 986–991.
- [7] Lu Z., Xian S., Yao H., Fang R., She J. Influence of freeze-thaw cycles in the presence of a supplementary water supply on mechanical properties of compacted soil // Cold Regions Science and Technology, 2019, no. 157, p. 4252.
- [8] Запруднов В.И., Стриженко В.В. Основы строительного дела. М.: МГУЛ, 2008. 460 с.
- [9] Sakai T., Nakano M. Interpretation of the mechanical behavior of embankments having various compaction properties based on the soil skeleton structure // Soils and Foundations, 2015, no. 55, pp. 1069–1085.
- [10] Kumor Ł.A., Kumor M.K. Changes in mechanical parameters of soil, considering the effect of additional compaction of embankment // Transportation Research Procedia, 2016, no. 14, pp. 787–796.
- [11] Ang J.B., Fredriksson P.G. Trade, Global Policy, and the Environment: New Evidence and Issues // J. of Comparative Economics, 2018, no. 46, pp. 616–633.
- [12] Hong Z. Executive labor market segmentation: How local market density affects incentives and performance // J. of Corporate Finance, 2018, v. 50, pp 1–21.
- [13] Garmanov G., Urazaeva N. Design and Calculation of Cost Effectiveness of Various Types of Foundations in Central Russia // Procedia Engineering, 2015, v. 117, pp. 465–475.
- [14] Baril G.L., Wright J.C. Different types of moral cognition: Moral stages versus moral foundations // Personality and Individual Differences, 2012, v. 53, iss. 4, pp. 468–473.
- [15] Kong G., Cao T., Hao Y., Zhou Y., Ren L. Thermomechanical properties of an energy micro pile — raft foundation in silty clay // Underground Space, 2019, no. 6 (3), pp. 1–9.
- [16] Li J., Wang X., Guo Y., Yu X. Vertical bearing capacity of the pile foundation with restriction plate via centrifuge modelling // Ocean Engineering, 2019, v. 181, pp 109–120.
- [17] Santos R., Esquivel E. Saturated anisotropic hydraulic conductivity of a compacted lateritic soil // J. of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 2018, v. 10, iss. 5, pp. 986–991.
- [18] Lu Z., Xian Sh., Yao H., Fang R., She J. Influence of freeze-thaw cycles in the presence of a supplementary water supply on mechanical properties of compacted soil // Cold Regions Science and Technology, 2019, v. 157, pp. 42–52.
- [19] Sakai T., Nakano M. Interpretation of the mechanical behavior of embankments having various compaction properties based on the soil skeleton structure // Soils and Foundations, 2015, v. 55, iss. 5, pp. 1069–1085.
- [20] Kumor Ł.A., Kumor M.K. Changes in Mechanical Parameters of Soil, Considering the Effect of Additional Compaction of Embankment // Transportation Research Procedia, 2016, v. 14, pp. 787–796.
- [21] Zhao R., Hui R., Liu L., Xie M., An L. Effects of snowfall depth on soil physical-chemical properties and soil microbial biomass in moss – dominated crusts in the Gurbangut Desert, Northern China // CATENA, 2018, v. 169, pp. 175–182.
- [22] Zhang Q., Shao M., Jia X., Wei X. Changes in soil physical and chemical properties after short drought stress in semi-humid forests // Geoderma, 2019, v. 338, pp. 170–177.
- [23] Kante N., Kryshchuk M., Lavendels J. Charged Particle Location Modeling Based Experiment Plan Acquisition Method // Procedia Computer Science, 2017, v. 104, pp. 592–597.
- [24] Baraffe H.D., Cosson M., Bect J., Delille G., Francois B. A novel non-intrusive method using design of experiments and smooth approximation to speed up multi-period load-flows in distribution network planning // Electric Power Systems Research, 2018, v. 154, pp. 444–451.
- [25] Hong Y., Wang Y., Wu J., Jiao L., Chang X. Developing a mathematical modeling method for determining the potential rates of microbial ammonia oxidation and nitrite oxidation in environmental samples // International Biodeterioration & Biodegradation, 2018, v. 133, pp. 116–123.
- [26] Jayanudin J., Fahrurrozi M., Wirawan S.K., Rochmadi R. Mathematical modeling of the red ginger oleoresin release from chitosan-based microcapsules using emulsion crosslinking method // Engineering Science and Technology, 2019, v. 22, iss. 2, pp. 458–467.
- [27] Stephenson C.L., Harris C.A. An assessment of dietary exposure to glyphosate using refined deterministic and probabilistic methods // Food and Chemical Toxicology, 2016, v. 95, pp. 28–41.

## Сведения об авторах

**Серегин Николай Григорьевич** — канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), SereginNG@mgsu.ru

**Запруднов Вячеслав Ильич** — д-р техн. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), zaprudnov@mgul.ac.ru

Поступила в редакцию 14.04.2021.

Принята к публикации 17.05.2021.



## OPTIMAL COMPOSITION TEST OF CEMENT PRIMERS IN PILE FOUNDATION CONSTRUCTION BY BORING AND MIXING METHOD

N.G. Seregin<sup>1</sup>, V.I. Zaprudnov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Moscow State Building University (NIU MGSU), 26, Yaroslavl highway, 129337, Moscow, Russia

<sup>2</sup>BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

SereginNG@mgsu.ru

The analysis of soil structures in the territory of Western Siberia of the Russian Federation is given. The conditions of soil extraction for the construction of foundations are considered. The expediency of using loess soils for the construction of pile foundations with the use of cement primers is justified. The purpose of the work is formulated. A method for evaluating the physical and mechanical properties of soils for the construction of pile foundations by drilling and mixing method is considered. The main indicator of the soil for achieving this goal, which is a measure of its fragility, is determined. The curve of the dependence of the stress in the soil material on the deformation is considered and analyzed. The physical parameters of loess-like soils of various territorial regions of the Russian Federation are studied. Recommendations for the formation of the optimal composition of the soil for strengthening it with cement in the construction of pile foundations by drilling and mixing method are given.

**Keywords:** pile foundation, cement primers, boring method, loess soils, stress, deformation, frangibility, sand fractions, plasticity number

**Suggested citation:** Seregin N.G., Zaprudnov V.I. *Opreделение optimal'nykh sostavov tsementogruntov pri ustroystve svaynykh fundamentov burosmesitel'nyim sposobom* [Optimal composition test of cement primers in pile foundation construction by boring and mixing method]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 5, pp. 106–110. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-5-106-110

### Authors' information

**Seregin Nikolay Grigorievich** — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Moscow State Building University (NIU MGSU), SereginNG@mgsu.ru

**Zaprudnov Vyacheslav Il'ich** — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), zaprudnov@mgul.ac.ru

Received 14.04.2021.

Accepted for publication 17.05.2021.

## ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ 3D-ПЕЧАТИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СИНТЕТИЧЕСКИХ И ПРИРОДНЫХ БИОПОЛИМЕРОВ (ОБЗОР)

Д.Г. Черемисин<sup>1</sup>, В.Р. Мкртчян<sup>1</sup>, А.Н. Иванкин<sup>1</sup>,  
А.В. Устюгов<sup>2</sup>, М.И. Маслов<sup>3</sup>, А.А. Никонорова<sup>4</sup>

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

<sup>2</sup>МИРЭА — Российский технологический университет (РТУ МИРЭА), 119454, г. Москва, Проспект Вернадского, д. 78

<sup>3</sup>Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет имени В.И. Ленина (ЛЭТИ), 197022, г. Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, д. 5

<sup>4</sup>ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», 119991, г. Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1

aivankin@inbox.ru

Представлен обзор современного метода 3D-печати различных композитов на основе синтетических и природных биополимеров с включением древесного сырья. Рассмотрены некоторые особенности научно-технологических подходов к формированию конкретного изделия с использованием абстрактного компьютерного моделирования. Дана классификация и приведен обзор наиболее распространенных и перспективных технологий 3D-печати с использованием деградированного сырья при включении продуктов переработки древесины. Показано, что с помощью 3D-печати весьма перспективно получение «искусственной древесины», представляющей собой смесь древесной основы с инертным полимерным связующим, которое может быть создано либо на основе синтетических полимеров, либо на основе природной биоматрицы, полученной из экологически безопасных составляющих компонентов растительного сырья. Указано, что важным аспектом проблемы получения современных биокомпозитов является дисперсность применяемых материалов, которая влияет на весь комплекс физико-механических свойств продукта. Описаны области применения предлагаемых материалов. Проанализированы тенденции развития технологии 3D-печати с использованием полимерных связующих на основе природных и синтетических полимеров и показана перспективность использования природных биополимеров на основе растительного сырья для производства необходимых для человека изделий и материалов как экологически безопасной продукции. Сделан вывод о приближающемся взрывном росте производства и применения 3D-композиционных материалов на основе природных и синтетических полимеров с включением дешевых древесных компонентов в условиях значительного снижения производственных затрат и быстрого получения необходимой продукции с низкой себестоимостью изделий при реализации высокоэффективного способа 3D-печати.

**Ключевые слова:** 3D-печать, технологии, композиционные материалы, применение

**Ссылка для цитирования:** Черемисин Д.Г., Мкртчян В.Р., Иванкин А.Н., Устюгов А.В., Маслов М.И., Никонорова А.А. Потенциальные возможности 3D-печати для получения композиционных материалов на основе синтетических и природных биополимеров (обзор) // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 5. С. 111–118. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-5-111-118

**Ш**ирокое применение 3D-печати открыло принципиально новый путь в области создания материалов, веществ и даже биологических систем. Быстроразвивающиеся современные технологии в ближайшие несколько лет приведут к постепенной замене традиционных заводов и предприятий на производственные центры, в которых будут использоваться 3D-принтеры для промышленного выпуска различных изделий, деталей, компонентов, жилых домов, медицинских органов-имплантов и другой необходимой продукции.

### Цель работы

Цель работы — обзор потенциальных возможностей 3D-печати для получения композиционных материалов на основе синтетических и природных биополимеров.

### Теоретические основы применения компьютерных 3D-технологий

Развитие современных компьютерных технологий обеспечивает потенциально неограниченные возможности в области получения новейших композиционных материалов. 3D-печать, под которой специалисты сегодня понимают технологическое использование так называемых 3D-принтеров — сложных технических устройств, позволяющих формировать в пространстве точно заданные копии образцов материалов разной геометрической формы и состава или создавать новые не существовавшие ранее изделия [1].

В основу работы 3D-принтера заложен принцип послойного формирования твердой модели из определенного материала или смеси компонентов.

3D-печать по сравнению с традиционными способами получения продукта отличается высокой скоростью, относительной компактностью и простотой, а также постоянно снижающейся себестоимостью производства [2].

Получение композитов с использованием 3D-печати основано на специальных разделах компьютерной графики, в частности на совокупности программных и аппаратных приемов и инструментов, обеспечивающих пространственную непрерывность получаемых изображений с последующим переходом к конкретному изделию. При этом изготавливаемый объект может, как соответствовать оригиналу, так и быть полностью абстрактным, созданным на основе воображения [3, 4].

Для практического осуществления 3D-печати любого композита необходимо провести *моделирование*, т. е. создать математическую модель продукта и составляющих его компонентов и провести *визуализацию*, т. е. построить проекцию в соответствии с выбранной физической моделью. В завершение используют 3D-принтер — устройство, технически реализующее метод создания физического объекта на основе виртуальной 3D-модели [5].

Сегодня в 3D-печати используются две разные технологии: лазерная и струйная печать. Лазерную печать подразделяют на собственно лазерную, лазерное спекание и ламинирование. При лазерной печати принтер использует жидкий фотополимер, который засвечивается специальной ультрафиолетовой лампой с помощью фотошаблона с последующим формированием твердого материала. При лазерном спекании, лазер слой за слоем выжигает контур будущей детали на специальном порошке, т. е. осуществляет послойное производство. В случае ламинирования готовый объект создается лазером из большого количества разнообразных слоев, накладываемых друг на друга [6].

В струйной печати имеются два основных способа — это застывание материала при охлаждении и спекание порошкообразного материала. В первом случае происходит выдавливание термопластика по каплям на основу будущего продукта, а второй способ по своей сути напоминает лазерное спекание, но в данном случае порошок склеивается с помощью специально предназначенного для этой операции полимерного клея [5, 6].

Указанные выше способы осуществления 3D-печати можно в полной мере использовать для производства композиционных материалов на основе твердых наполнителей, в том числе с использованием природных биополимеров древесного происхождения. Традиционно, наиболее распространенным композиционным материалом

на основе древесного сырья является смесь древесно-стружечных опилок, соединенных синтетическим полимерным связующим, в качестве которого обычно используют достаточно токсичные для человека связующие на основе фенол- и мочевино-формальдегидных сополимеров. Выбор этих компонентов более 100 лет тому назад был сделан в основном вследствие дешевизны применяемых материалов. Сегодня, в промышленно развитых странах фенол- и мочевино-формальдегидные сополимеры в контакте с человеком стараются не применять и используют для этого более безопасные синтетические или природные полимеры [7, 8].

В настоящее время становится совершенно реальным формирование безопасных многокомпонентных композитов на основе высокодиспергированных продуктов переработки растительного сырья, в том числе древесного, а также минеральных наполнителей и связующих полимеров, в качестве которых целесообразно использовать инертные полиолефины. Применение струйной 3D-печати, включающей застывание материала при охлаждении и спекание порошкообразных частиц, представляется наиболее приемлемым [9].

Современные технологии позволяют получать сильнодеградированные природные биополимеры, вплоть до образования наночастиц, что весьма удобно использовать при струйной печати материала, предусматривающей напыление или впрыскивание жидких суспензий [9, 10].

Высокодисперсные наполнители в сочетании с современными синтетическими сополимерами — идеальные объекты для организации принципиально новых производств композиционных материалов, например для домостроения на основе древесного сырья с использованием 3D-печати [2, 7].

### Потенциальная польза использования композитных материалов в 3D-печати

Композиционный материал — сплошной неоднородный композит, состоящий из двух компонентов или более. Среди основных составляющих можно выделить такие типы, как: армирующие компоненты, которые обеспечивают необходимые механические характеристики материала, а также матричные (связующие), которые обеспечивают качественную совместную работу других, в том числе армирующих, элементов.

Даже бетон можно рассматривать как композит, поскольку он состоит из нескольких различных материалов. Термин «композит» чаще всего используется в инженерной практике и означает материал, армированный инородными включе-



ниями, например, волокнами. В сочетании с другим материалом волокна очень полезны, но они самостоятельно почти никогда не используются. Их обычно добавляют к матричному материалу в виде коротких волокон или в виде сгустков, армированных сплошными волокнами. Наноцеллюлоза, по-видимому, является в этом случае перспективным материалом [11, 12].

Использование композитных материалов позволяет добиться нетривиальных свойств, способствующих преодолению ранее имевшихся трудностей при производстве продукта, в частности, связанных с прочностными характеристиками или сложностями при создании эстетической составляющей. Такие свойства могут иметь решающее значение, как эстетическое, так и функциональное. Например, поверхность изделия можно сделать более шершавой или увеличить прочность наиболее уязвимых составных частей [13, 14].

С каждым годом растет число производственных компаний, использующих композитные материалы для 3D-печати различных деталей или готовых продуктов. Согласно маркетинговым исследованиям рынка композитной 3D-печати от компании IDTechEx (Великобритания), к 2030 г. объем такого производства будет составлять 1,73 млрд дол. США, в то время как в 2020 г. он составил всего 0,4 млрд дол. [15].

На сегодняшний день в 3D-печати массово используются синтетические полимеры — пластики на основе сополимеров акрилонитрила, бутадиена и стирола (ABS), полиэтилентерефталата, модифицированного гликолем (PET-G), а также поли-D,L-лактоидов (PLA). Эти связующие материалы дают огромный базис для работы с аддитивными технологиями для массового потребителя, так как удовлетворяют по цене и конечному результату.

С недавних пор на рынке материалов для 3D-печати наряду с обычными перечисленными выше пластиками появились новые биопластичные композиты, созданные на основе включенных производных молочной кислоты [16–19].

Новым видом такого материала стал биопластик, разработанный на основе пластика PLA с добавлением древесной стружки [20]. Данный материал не токсичен для человека в отличие от пластика ABS, имеет ярко выраженные отличительные особенности с точки зрения эстетики, например, на ощупь текстура изделия может напоминать обработанное дерево, к тому же в нее добавляется ощутимый запах древесины. Применение такого материала не только эстетическое, к примеру, с его помощью можно заменить утраченные части каких-либо готовых деревянных предметов. В качестве добавочного компонента

здесь служит древесная стружка, следовательно, открываются возможности для вторичного использования древесного мусора после переработки растительного сырья [21, 22].

Возвращаясь к вопросу о вторичном использовании отходов, переработанную древесину в смеси с другими компонентами можно использовать в строительстве. Такое решение позволит получить относительно недорогие композитные материалы для быстрого аддитивного возведения зданий и сооружений [23–25].

## Получение и использование композитов на основе природных и синтетических полимеров

Перспективным материалом как для функциональной так и для декоративной 3D-печати является искусственное дерево. Материалы из древесины могут стать заменой используемого в настоящее время в огромных масштабах ископаемого сырья, что должно позитивно сказываться на экологии. Реализация принципов 3D-печати привела к возникновению нового материала — «искусственной древесины» или «искусственного дерева» [26, 27].

Различают несколько видов искусственного дерева для печати.

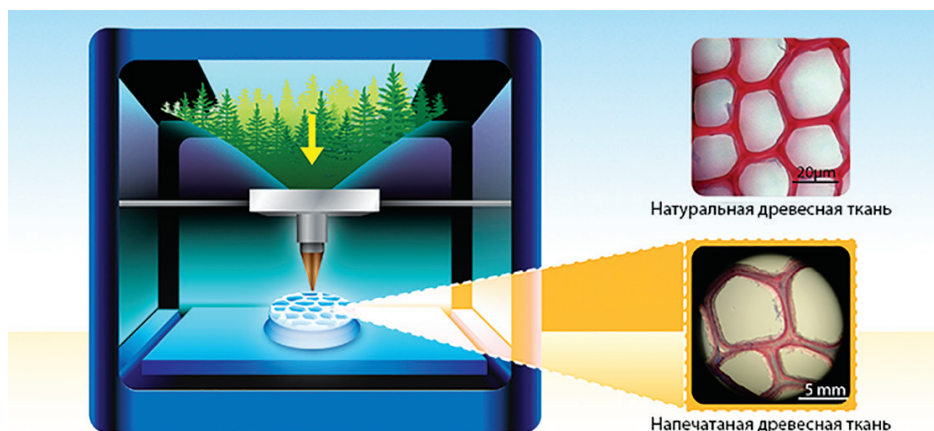
Во-первых, это может быть смесь измельченной древесной основы с инертной полимерной связующей матрицей (рис. 1). В создании такого материала преуспела российская компания ООО «ЭкоФорм 3Д» (совместно с ГК «Спецавиа»), специалисты которой разработали состав и организовали производство *искусственной древесины*.



Рис. 1. Филамент для 3D-печати, сделанный на основе древесной стружки и PLA-матрицы

Fig. 1. Filament for 3D-printing, made on the basis of wood chips and PLA-matrix

Технологическая линия представляет собой малогабаритный переносной принтер, позволяющий осуществлять 3D-печать изделий строительного назначения. Разгружать и загружать



**Рис. 2.** Имитация естественной ячеистой архитектуры дерева в 3D-принтере [ил.: Йен Страндквист / Технологический университет Чалмерса]  
**Fig. 2.** Simulation of the natural honeycomb architecture of a tree in a 3D printer [Fig.: Ian Strandqvist / Chalmers University of Technology]



**Рис. 3.** Жилой дом, «напечатанный» в России, г. Ступино, компания Apis Cor  
**Fig. 3.** Residential building «printed» in Russia, Stupino, Apis Cor company

3D-принтер может один человек. Мощные его приводы, позволяют перемещать печатающую головку с большой скоростью и точностью. Искусственная древесина представляет собой термопластичный композиционный материал, основу которого составляет натуральный *лигнин*, выделенный из нетоварной древесины гидротермомеханической (кавитационной) обработкой без использования химических реагентов. Смесь для 3D-печати состоит из зернистого материала, 10...60 % его массы имеют диаметр частиц менее 0,1 мм, что может составлять в отдельных партиях более 90 % массы исходной смеси. Смесь можно приготовить заранее путем перемешивания двух компонентов или более для получения однородной массы либо непосредственно в печатающей головке. В смесь включают воду с добавками пластификаторов, фиброволокон, ускорителей или замедлителей процесса отверждения. Полученное изделие выдерживают не менее 2 ч с последующей естественной или принудительной сушкой. Основной сферой применения описанного

выше материала разработчики подразумевают аддитивное строительство [28, 29].

Во-вторых, искусственная древесина может быть в виде древесной основы с биополимерной матрицей (рис. 2). Примером такого материала является разработка из шведского технологического университета Чалмерса [30]. Здесь удалось добиться успехов в 3D-печати чернилами по древесной основе, которая имитирует уникальную структуру дерева. Предлагаемая технология позволяет «выращивать» древесину в необходимой для конечного продукта форме, посредством аддитивного производства. Материал для печати состоит из древесины, преобразованной в наноцеллюлозный гель, и гемицеллюлозы. Гемицеллюлоза действует как клей, придавая целлюлозе достаточную прочность, аналогично естественному процессу лигнификации, посредством которого строятся клеточные стенки растений. 3D-печать осуществляется в любом возможном масштабе.

Потенциал использования экологических материалов для 3D-печати на древесной основе крайне велик [31, 32]. Дерево является не самым дорогим сырьем, что привлекательно с экономической точки зрения. К тому же древесные материалы не загрязняют окружающую среду, являются возобновляемыми и поддаются вторичному использованию. Например, исследователям из Швеции, разработавшим описанный выше материал, удалось создать из него одежду и новый тип герметичных упаковок. А дома, которые аддитивно возводятся во многих странах, уже не являются чем-то из ряда вон выходящим [32].

В подмосковном г. Ступине российская компания Apis Cor в сотрудничестве с одним из крупнейших российских строительных концер-

нов — ПАО «Группа компаний ПИК» недавно продемонстрировала «напечатанный дом» (рис. 3).

От демонстрационных проектов до массового использования строительных 3D-принтеров, тем не менее, должно пройти некоторое время. Технологии 3D-печати привлекают внимание крупных участников строительной отрасли, что возможно обусловит их дальнейшее технологическое усовершенствование в том числе 3D устройств и популяризацию 3D-печати в широких кругах общественности.

## Выводы

В ближайшее десятилетие возможна активизация применения композиционных материалов, созданных на основе природных и синтетических полимеров. 3D-принтеры способны значительно снизить производственные затраты, что снизит конечную себестоимость изделий. Позитивные экологические и экономические факторы будут способствовать развитию технологий 3D-печати необходимых материалов, завоевывать новые рынки и расширять сферы их применения. Различные биополимеры сегодня используются в промышленной 3D-печати, например, при изготовлении органов и тканей для функционирования живых систем — в сложнейшем направлении.

Доступные сферы для получения композиционных материалов на основе природных и синтетических биополимеров, а также других современных композитов совместно с постоянно совершенствующейся 3D-печатью весьма обширны. Наиболее продвинутым в техническом плане направлением ныне является строительство — от печати декоративных объектов для украшения жилищного интерьера до печати самого жилья. На данный момент 3D-печать домов, или контурное строительство, привлекает внимание многих инвесторов своей футуристичностью, простотой и приемлемой ценой.

Расширение сферы использования композиционных материалов, созданных на основе природных и синтетических полимеров, удешевляет их и способствует созданию смежных технологий, упрощающих взаимодействие с ними. Представляется, что и для бытовой 3D-печати станет доступной печать, например, деревянной шкатулки, почти не отличимой от той, что была собрана из настоящего дерева.

Краткое рассмотрение потенциальных возможностей получения 3D-напечатанных материалов отнюдь не отражает гигантские возможности получения новых композиционных материалов с использованием технологий 3D-печати, что является ближайшей перспективой технологического развития.

## Список литературы

- [1] Граф И. Введение в технологию работы 3D принтеров // Системный анализ и логистика, 2013. № 10. С. 51–53.
- [2] Tao Y., Li P., Pan L. Improving tensile properties of polylactic acid parts by adjusting printing parameters of open source 3d printers // *Materials Science*, 2019, v. 26, no. 1, pp. 83–87. DOI: 10.5755/j01.ms.26.1.20952
- [3] Soni K.S., Taufik M. Design and assembly of fused filament fabrication 3D printers // *Materials Today: Proceedings*, 2020, no. 10, pp. 123–126.
- [4] Ли Дж., Уэр Б. Трехмерная графика и анимация. М.: Вильямс, 2002. 640 с.
- [5] Miller D.B., Glisson W.B., Yampolskiy M., Choo K.R. Identifying 3D printer residual data via open-source documentation // *Computers & Security*, 2018, v. 75, no. 6, pp. 10–23.
- [6] Кудряшов А.Н., Старикова Е.А. 3D-принтер для строительства домов // *Молодежный вестник ИРГТУ*, 2017. № 3. С. 1–9.
- [7] Bharadwaz A., Jayasuriya A.C. Recent trends in the application of widely used natural and synthetic polymer nanocomposites in bone tissue regeneration // *Materials Science and Engineering: C*, 2020, v. 110, no. 5, 110698 DOI:// doi.org/10.1016/j.msec.2020.110698
- [8] Harpe K.M., Rondiah P.D., Marimuthu T., Chonara Y.E. Advances in carbohydrate-based polymers for the design of suture materials: A review // *Carbohydrate Polymers*, 2021, v. 261, no. 6, 117860. doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.117860
- [9] Обливин А.Н., Лопатников М.В., Брынцев В.А., Голубев И.Г., Коровин В.В. Нанотехнологии и наноматериалы в лесном комплексе. М.: МГУЛ, 2011. 220 с.
- [10] Neklyudov A.D., Ivankin A.N. Biochemical processing of fats and oils as a means of obtaining lipid products with improved biological and physicochemical properties: a review // *Applied Biochemistry and Microbiology*, 2002, v. 38, no. 5, pp. 399–409.
- [11] Fraternali F., Carpentieri G., Modano M., Fabbrocino F., Skelton R.E. A tensegrity approach to the optimal reinforcement of masonry domes and vaults through fiber-reinforced composite materials // *Composite Structures*, 2015, v. 134, no. 12, pp. 247–254. doi.org/10.1016/j.compstruct.2015.08.087
- [12] Прошина О.П., Олиференко Г.Л., Евдокимов Ю.М., Иванкин А.Н. Наноцеллюлоза и получение бумаги на ее основе // *Вестник МГУЛ – Лесной вестник*, 2012. № 7 (90). С. 112–114.
- [13] Kariz M., Sernek M., Obućina M., Kuzman M. K. Effect of wood content in FDM filament on properties of 3D printed parts // *Materials Today Communications*, 2018, v. 14, pp. 135–140. DOI:10.1016/j.mtcomm.2017.12.016
- [14] Ayrilmis N. Effect of layer thickness on surface properties of 3D printed materials produced from wood flour PLA filament // *Polymer Testing*, 2018, v. 71, pp.163–166. DOI:10.1016/j.polymertesting.2018.09.009
- [15] Collins R. 3D printing composites 2020-2030: technology and market analysis current and future technologies, and market forecasts, 2020. URL: <https://www.idtechex.com/en/research-report/3d-printing-composites-2020-2030-technology-and-market-analysis/685> (дата обращения 18.03.2021).
- [16] Ehler E.D., Sterling D.A. 3D printed copper-plastic composite material for use as a radio therapy bolus // *Physica Medica*, 2020, v. 76, pp. 202–206. DOI:10.1016/j.ejmp.2020.07.008
- [17] Jackson R.J., Patrick P.S., Miodownik M. Functionally graded 3D printed asphalt composites // *Materials Letters: X*, 2020, v. 7, 100047. DOI:10.1016/j.mlblux.2020.100047



- [18] Yeo T., Ko Y.G., Kim E.J., Kwon O.K., Chung H.Y., Kwon O.H. (2020). Promoting bone regeneration by 3D-printed poly(glycolic acid) / hydroxyapatite composites scaffolds // *J. of Industrial and Engineering Chemistry*, 2021, v. 94, no. 2, pp. 343–351. DOI:10.1016/j.jiec.2020.11.004
- [19] Doddamani M. Dynamic mechanical analysis of 3D printed eco-friendly light weight composite // *Composites Communications*, 2020, v. 19, no. 6, pp. 142–146. DOI:10.1016/j.coco.2020.04.002
- [20] Markstedt K., Håkansson K., Toriz G., Gatenholm P. Materials from trees assembled by 3D printing — Wood tissue beyond nature limits // *Applied Materials Today*, 2019, v. 15, pp. 280–285. DOI:10.1016/j.apmt.2019.02.005
- [21] Bhagia S., Lowden R.R., Erdman D., Rodriguez M., Haga B.A., Solano I.R., Ragauskas A.J. Tensile properties of 3D-printed wood-filled PLA materials using poplar trees // *Applied Materials Today*, 2020, v. 21, 100832. DOI:10.1016/j.apmt.2020.100832
- [22] Yang S., Jiang J., Duan W., Bai S., Wang Q. Production of sustainable wood-plastic composites from then on metals in waste printed circuit boards // *Composites Science and Technology*, 2020, v. 200, 108411. DOI:10.1016/j.compscitech.2020.108411
- [23] Chen M., Yang L., Zheng Y., Huang Y., Li L., Zhao P., Cheng X. Yield stress and thixotropic on trolof 3D-printed calcium sulfo aluminate cement composites with meta kaolin related to structural build-up // *Construction and Building Materials*, 2020, v. 252, p. 119090. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2020.119090
- [24] He L., Chow W. T., Li H. Effects of interlayer notch and shear stress on interlayer strength of 3D printed cement paste // *Additive Manufacturing*, 2020. DOI:10.1016/j.addma.2020.101390
- [25] Shakor P., Sanjayan J., Nazari A., Nejadi S. Modified 3D printed powder to cement-based material and mechanical properties of cement scaffold used in 3D printing // *Construction and Building Materials*, 2017, v. 138, pp. 398–409. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2017.02.037
- [26] Herrera R., Arrese A., de Hoyos-Martinez P.L., Labidi J., Llano-Ponte R. Evolution of thermally modified wood properties exposed to natural and artificial weathering and its potential as an element for facades systems // *Materials*, 2018, v. 172, no. 5, pp. 233–242. doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.157
- [27] Friedrich D. Comparative study on artificial and natural weathering of wood-polymer compounds: A comprehensive literature review // *Case Studies in Construction Materials*, 2018, v. 9, e00196. doi.org/10.1016/j.cscm.2018.e00196
- [28] Курбатов В.Л., Дайронас М.В., Зайченко М. Перспективы применения аддитивных технологий в строительстве // *Университетская наука*, 2020. № 1(9). С. 18–22.
- [29] Han Y., Yang Z., Ding T., Xiao J. Environmental and economic assessment on 3d printed buildings with recycled concrete // *J. of Cleaner Production*, 2020, 123884. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.123884
- [30] Markstedt K., Hakansson K., Toriz G., Gatenholm P. Materials from trees assembled by 3D printing — wood tissue beyond nature limits // *Applied Materials Today*, 2019, v. 15, pp. 280–285. DOI: 10.1016/j.apmt.2019.02.005
- [31] He Y., Zhang Y., Zhang C., Zhou, H. Energy-saving potential of 3D printed concrete building with integrated living wall // *Energy and Buildings*, 2020, 110110. DOI: 10.1016/j.enbuild.2020.110110
- [32] Alkhalidi A., Hatuqay D. Energy efficient 3D printed buildings: Material and techniques selection worldwide study // *J. of Building Engineering*, 2020, 101286. DOI: 10.1016/j.job.2020.101286

## Сведения об авторах

**Черемисин Данил Германович** — бакалавр МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), denner02@mail.ru

**Мкртчян Вагаршак Рубикович** — бакалавр МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), a979a@icloud.com

**Иванкин Андрей Николаевич** — д-р хим. наук, профессор кафедры «Химия и химические технологии лесного комплекса» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), aivankin@mgul.ac.ru

**Устюгов Александр Викторович** — канд. хим. наук, ст. преподаватель кафедры общей химической технологии МИРЭА — Российский технологический университет (РТУ МИРЭА), ustyugov.alexandr@mail.ru

**Маслов Максим Игоревич** — бакалавр Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета имени В.И. Ленина (ЛЭТИ), mmiwfl6@gmail.com

**Никонова Анастасия Алексеевна** — бакалавр Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (МГУ), callunavulgariss@yandex.ru

Поступила в редакцию 07.04.2021.

Принята к публикации 18.05.2021.

## POTENTIAL POSSIBILITIES OF 3D PRINTING FOR PRODUCING COMPOSITE MATERIALS BASED ON NATURAL BIO- AND SYNTHETIC POLYMERS (A REVIEW)

D.G. Cheremisin<sup>1</sup>, V.R. Mkrтчan<sup>1</sup>, A.N. Ivankin<sup>1</sup>,  
A.V. Ustyugov<sup>2</sup>, M.I. Maslov<sup>3</sup>, A.A. Nikonorova<sup>4</sup>

<sup>1</sup>BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

<sup>2</sup>MIREA — Russian Technological University (RTU MIREA), 78, Vernadsky av., 119454, Moscow, Russia

<sup>3</sup>Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI», 5, Professor's Popov st., 197022, St. Petersburg, Russia

<sup>4</sup>Lomonosov Moscow State University, 1, Leninskie gory, 119991, Moscow, Russia

aivankin@inbox.ru

A review is presented on the modern method of 3D printing of various composites based on synthetic and natural biopolymers with the inclusion of wood raw materials. Some features of scientific and technological approaches to the formation of a specific product using abstract computer modeling are described. A classification and review of the most common and promising 3D printing technologies using degraded raw materials with the inclusion of wood processing products is given. It is shown that using 3D printing, it is very promising to obtain «artificial wood», which is a mixture of a wood base with an inert polymer binder, which can be either based on synthetic polymers or based on natural biomatrix obtained from ecologically safe constituents of herbal raw materials. It is indicated that an important aspect of the problem of obtaining modern biocomposites is the dispersion of the materials used, which affects the entire complex of physical and mechanical properties of the product. The areas of application of the materials used are given. Trends in the development of 3D printing technology with the use of polymer binders based on natural and synthetic polymers are analyzed and the prospects of using natural biopolymers based on plant raw materials for the production of goods and materials necessary for humans as environmentally friendly products are shown. It is concluded that an impending explosive growth in the production and use of 3D composite materials based on natural and synthetic polymers with the inclusion of cheap wood components in the context of a significant reduction in production costs and the rapid production of the required products with low cost of products in the implementation of a highly efficient method 3D printing.

**Keywords:** 3D printing, technologies, composite materials, application

**Suggested citation:** Cheremisin D.G., Mkrтчan V.R., Ivankin A.N., Ustyugov A.V., Maslov M.I., Nikonorova A.A. *Potentsial'nye vozmozhnosti 3D-pechati dlya polucheniya kompozitsionnykh materialov na osnove prirodnykh bio-i sinteticheskikh polimerov (obzor)* [Potential possibilities of 3D printing for producing composite materials based on natural bio- and synthetic polymers (a review)]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 5, pp. 111–118. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-5-111-118

### References

- [1] Graf I. *Vvedenie v tekhnologiyu raboty 3D printerov* [Introduction to the technology of 3D printers]. *Sistemnyy analiz i logistika* [System Analysis and Logistics], 2013, no. 10, pp. 51–53.
- [2] Tao Y., Li P., Pan L. Improving tensile properties of polylactic acid parts by adjusting printing parameters of open source 3D printers. *Materials Science*, 2019, v. 26, no. 1, pp. 83–87. DOI: 10.5755/j01.ms.26.1.20952
- [3] Soni K.S., Taufik M. Design and assembly of fused filament fabrication 3D printers. *Materials Today: Proceedings*, 2020, no. 10, pp. 123–126.
- [4] Li Dzh., Uer B. *Trekhmernaya grafika i animatsiya* [Three-dimensional graphics and animation]. Moscow: Williams, 2002. 640 p.
- [5] Miller D.B., Glisson W.B., Yampolskiy M., Choo K.R. Identifying 3D printer residual data via open-source documentation. *Computers & Security*, 2018, v. 75, no. 6, pp. 10–23.
- [6] Kudryashov A.N., Starikova E.A. *3D-printer dlya stroitel'stva domov* [3D printer for building houses]. *Molodezhnyy vestnik IRGTU* [Youth Bulletin of Irkutsk State Technical University], 2017, no. 3, pp. 1–9.
- [7] Bharadwaz A., Jayasuriya A.C. Recent trends in the application of widely used natural and synthetic polymer nanocomposites in bone tissue regeneration. *Materials Science and Engineering: C*, 2020, v. 110, no. 5, 110698 DOI:// doi.org/10.1016/j.msec.2020.110698
- [8] Harpe K.M., Rondiah P.D., Marimuthu T., Chonara Y.E. Advances in carbohydrate-based polymers for the design of suture materials: A review. *Carbohydrate Polymers*, 2021, v. 261, no. 6, 117860. doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.117860
- [9] Oblivin A.N., Lopatnikov M.V., Bryntsev V.A., Golubev I.G., Korovin V.V. *Nanotekhnologii i nanomaterialy v lesnom komplekse* [Nanotechnology and nanomaterials in the forestry complex]. Moscow: MSFU, 2011, 220 p.
- [10] Neklyudov A.D., Ivankin A.N. Biochemical processing of fats and oils as a means of obtaining lipid products with improved biological and physicochemical properties: a review. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 2002, v. 38, no. 5, pp. 399–409.
- [11] Fraternali F., Carpentieri G., Modano M., Fabbrocino F., Skelton R.E. A tensegrity approach to the optimal reinforcement of masonry domes and vaults through fiber-reinforced composite materials. *Composite Structures*, 2015, v. 134, no. 12, pp. 247–254. doi.org/10.1016/j.compstruct.2015.08.087
- [12] Proshina O.P., Oliferenko G.L., Evdokimov Yu.M., Ivankin A.N. *Nanotsellyuloza i poluchenie bumagi na ee osnove* [Nanocellulose and paper-based production]. *Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik*, 2012, no. 7 (90), pp. 112–114.
- [13] Kariz M., Sernek M., Obućina M., Kuzman M. K. Effect of wood content in FDM filament on properties of 3D printed parts. *Materials Today Communications*, 2018, v. 14, pp. 135–140. DOI:10.1016/j.mtcomm.2017.12.016

- [14] Ayrlimis N. Effect of layer thickness on surface properties of 3D printed materials produced from wood flour PLA filament. *Polymer Testing*, 2018, v. 71, pp.163–166. DOI:10.1016/j.polymertesting.2018.09.009
- [15] Collins R. 3D printing composites 2020–2030: technology and market analysis current and future technologies, and market forecasts, 2020. Available at: <https://www.idtechex.com/en/research-report/3d-printing-composites-2020-2030-technology-and-market-analysis/685> (accessed 18.03.2021).
- [16] Ehler E.D., Sterling D.A. 3D printed copper-plastic composite material for use as a radio therapy bolus. *Physica Medica*, 2020, v. 76, pp. 202–206. DOI:10.1016/j.ejmp.2020.07.008
- [17] Jackson R.J., Patrick P.S., Miodownik M. Functionally graded 3D printed asphalt composites. *Materials Letters: X*, 2020, v. 7, 100047. DOI:10.1016/j.mblux.2020.100047
- [18] Yeo T., Ko Y.G., Kim E.J., Kwon O.K., Chung H.Y., Kwon O.H. (2020). Promoting bone regeneration by 3D-printed poly(glycolic acid) / hydroxyapatite composites scaffolds. *J. of Industrial and Engineering Chemistry*, 2021, v. 94, no. 2, pp. 343–351. DOI:10.1016/j.jiec.2020.11.004
- [19] Doddamani M. Dynamic mechanical analysis of 3D printed eco-friendly light weight composite. *Composites Communications*, 2020, v. 19, no. 6, pp. 142–146. DOI:10.1016/j.coco.2020.04.002
- [20] Markstedt K., Håkansson K., Toriz G., Gatenholm P. Materials from trees assembled by 3D printing — Wood tissue beyond nature limits. *Applied Materials Today*, 2019, v. 15, pp. 280–285. DOI:10.1016/j.apmt.2019.02.005
- [21] Bhagia S., Lowden R.R., Erdman D., Rodriguez M., Haga B.A., Solano I.R., Ragauskas A.J. Tensile properties of 3D-printed wood-filled PLA materials using poplar trees. *Applied Materials Today*, 2020, v. 21, 100832. DOI:10.1016/j.apmt.2020.100832
- [22] Yang S., Jiang J., Duan W., Bai S., Wang Q. Production of sustainable wood-plastic composites from then on metals in waste printed circuit boards. *Composites Science and Technology*, 2020, v. 200, 108411. DOI:10.1016/j.compscitech.2020.108411
- [23] Chen M., Yang L., Zheng Y., Huang Y., Li L., Zhao P., Cheng X. Yield stress and thixotropic on trol of 3D-printed calcium sulfo aluminate cement composites with meta kaolin related to structural build-up. *Construction and Building Materials*, 2020, v. 252, p. 119090. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2020.119090
- [24] He L., Chow W. T., Li H. Effects of interlayer notch and shear stress on interlayer strength of 3D printed cement paste. *Additive Manufacturing*, 2020. DOI:10.1016/j.addma.2020.101390
- [25] Shakor P., Sanjayan J., Nazari A., Nejadi S. Modified 3D printed powder to cement-based material and mechanical properties of cement scaffold used in 3D printing. *Construction and Building Materials*, 2017, v. 138, pp. 398–409. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2017.02.037
- [26] Herrera R., Arrese A., de Hoyos-Martinez P.L., Labidi J., Llano-Ponte R. Evolution of thermally modified wood properties exposed to natural and artificial weathering and its potential as an element for fasades systems. *Materials*, 2018, v. 172, no. 5, pp. 233–242. doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.157
- [27] Friedrich D. Comparative study on artificial and natural weathering of wood-polymer compounds: A comprehensive literature review. *Case Studies in Construction Materials*, 2018, v. 9, e00196. doi.org/10.1016/j.cscm.2018.e00196
- [28] Kurbatov V.L., Dayronas M.V., Zaychenko M. *Perspektivy primeneniya additivnykh tekhnologiy v stroitel'stve* [Prospects for the use of additive technologies in construction]. *Universitetskaya nauka* [University Science], 2020, no. 1 (9), pp. 18–22.
- [29] Han Y., Yang Z., Ding T., Xiao J. Environmental and economic assessment on 3d printed buildings with recycled concrete. *J. of Cleaner Production*, 2020, 123884. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.123884
- [30] Markstedt K., Håkansson K., Toriz G., Gatenholm P. Materials from trees assembled by 3D printing — wood tissue beyond nature limits. *Applied Materials Today*, 2019, v. 15, pp. 280–285. DOI: 10.1016/j.apmt.2019.02.005
- [31] He Y., Zhang Y., Zhang C., Zhou, H. Energy-saving potential of 3D printed concrete building with integrated living wall. *Energy and Buildings*, 2020, 110110. DOI: 10.1016/j.enbuild.2020.110110
- [32] Alkhalidi A., Hatuqay D. Energy efficient 3D printed buildings: Material and techniques selection worldwide study. *J. of Building Engineering*, 2020, 101286. DOI: 10.1016/j.job.2020.101286

## Authors' information

**Cheremisin Danil Germanovich** — Bachelor of BMSTU (Mytishchi branch), denner02@mail.ru

**Mkrtchan Vagharshak Rubikovich** — Bachelor of BMSTU (Mytishchi branch), a979a@icloud.com

**Ivankin Andrey Nikolaevich** — Dr. Sci. (Chemistry), Professor of the Department of Chemistry, BMSTU (Mytishchi branch), aivankin@mgul.ac.ru

**Ustyugov Aleksander Viktorovich** — Cand. Sci. (Chem.), Senior Lecturer at the Department of General Chemical Technology; MIREA — Russian Technological University (RTU MIREA),  
ustyugov.alexandr@mail.ru

**Maslov Maxim Igorevich** — Bachelor, St. Petersburg State Electrotechnical University «LETI»,  
mamiw16@gmail.com

**Nikonorova Anastasia Alekseevna** — Bachelor, Lomonosov Moscow State University,  
callunavulgariss@yandex.ru

Received 07.04.2021.

Accepted for publication 18.05.2021.



## ОБЗОР ПРИНЦИПОВ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

А.О. Боровлев, А.В. Скрыпников, А.Н. Брюховецкий,  
В.А. Тимофеев, В.С. Прокопец

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», 394036, Россия, г. Воронеж, пр-т Революции, д. 19

borov.borov.ar@yandex.ru

Цель исследования заключается в обзоре и анализе опыта специалистов в области пространственного проектирования лесовозных автомобильных дорог для дальнейшего совершенствования методологических основ за счет обеспечения ясности и зрительно-допустимой степени кривизны пространственных кривых. Восприятие водителями направлений лесовозной автомобильной дороги, завышение скоростей движения приводят к критическим ситуациям или дорожно-транспортным происшествиям. Снижение скорости перед кажущимися резкими поворотами дороги отражается на эффективности работы лесовозного автомобильного транспорта. Поэтому вид дороги в перспективе должен четко ориентировать водителя, т. е. быть зрительно ясным, явно изменяющимся, обеспечивающим постоянство или плавное снижение режима движения транспортного потока. Повышается необходимость оптимального пространственного решения дороги. Требуется определить условия, при которых обеспечивается зрительная плавность и ясность наиболее распространенных простых пространственных кривых при взгляде из точек, соответствующих нормальному расположению глаз водителей автомобилей.

**Ключевые слова:** дорога, пространственные кривые, зрительная плавность, проектирование, продольный профиль, кривизна

**Ссылка для цитирования:** Боровлев А.О., Скрыпников А.В., Брюховецкий А.Н., Тимофеев В.А., Прокопец В.С. Обзор принципов пространственного проектирования лесовозных автомобильных дорог // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 5. С. 119–124. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-5-119-124

Началом систематической разработки принципов пространственного проектирования лесовозных автомобильных дорог считают вторую половину XX в. В их основу был положен опыт эксплуатации первых немецких лесовозных автомобильных дорог, при проектировании которых учитывались критерии не только технического оснащения, но и эстетические особенности. К дорогам как крупным инженерным сооружениям были предъявлены архитектурные требования, затронувшие в первую очередь такие дорожные сооружения, как мосты и параллельно с ними — придорожные территории. В начале строительство следовало инструкции по ландшафтному формированию дорог, разработанной американскими дорожниками и архитекторами.

Идеалом трасс по-прежнему оставалась длинная прямая, что объясняется своеобразной психологической идеей проектировщиков, поскольку радиусы кривых вынуждали снижать скорость движения и часто служили причинами аварий. Они в результате получили оценку нежелательных и опасных участков дорог. Наоборот, редко встречающиеся длинные прямые участки, которые автомобили могли проезжать с высокой скоростью, водители идеальными для движения не считали. Признавая кривые нежелательными, но неизбежными элементами трассы, проектировщики трасс старались ограничить их количество и протяженность. Совмещение горизонтальных и

вертикальных кривых малого радиуса также считалось обязательным, поскольку такие участки меньше соответствовали требованиям видимости, поэтому план и продольный профиль трасс проектировали раздельно и независимо.

### Цель работы

Цель работы — обзор и анализ опыта пространственного проектирования лесовозных автомобильных дорог для дальнейшего совершенствования методологии за счет обеспечения зрительной ясности и допустимой степени кривизны пространственных кривых трасс.

### Материал и методы исследования

Изучение первых лесовозных автомобильных дорог в Германии в 1936–1938 гг. показало, что многие их участки на местности выглядели зрительно беспокойными, поскольку имели резкие повороты и переломы как в плане, так и в профиле [1–3].

Лесовозные автомобильные дороги как протрассированные длинные прямые прорезали окружающий ландшафт и казались чуждыми ему. Ф. Геллер в 1938 г. впервые высказал мнение, что проложение лесовозной автомобильной дороги представляется логичным только в тех случаях, когда кромки проезжей части, характеризующие ее направления, не имеют резких изменений кривизны. Приведенный в его статье пример удачного участка дороги был пологоизвилистым [4, 5].

При сопоставлении различных участков лесовозных автомобильных дорог авторы пришли к выводу, что для удачных построек характерно постепенное изменение направления дороги, а также зрительная ясность проложения дорожного полотна на местности. У водителей, проезжающих по таким участкам, не возникают сомнения в направлении пути за пределами непосредственной видимости.

Критические статьи, опубликованные А. Зейфертом и Р. Ханкером, качественно раскрыли основные причины неудач в трассировании лесовозных автомобильных дорог [6, 7].

Опыт первых лет строительства лесовозных автомобильных дорог способствовал выработке новых требований. Такие дороги стали рассматривать как плавные пространственные кривые, которые следует взаимосвязано прокладывать в плане и в продольном профиле. Теоретические основы идеи пространственной трассы, которые сформулировал Г. Лоренц, показали, что непрерывность дороги достигается в случаях, когда начало и конец кривых в плане и профиле совпадают (рисунок) [7].

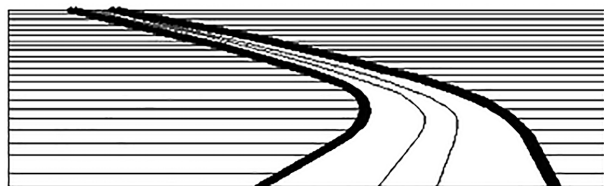


Схема рационального сочетания кривых в плане  
Scheme of the rational curves combination in the plan

При проектировании магистралей Г. Лоренц предлагал руководствоваться законом непрерывности, согласно которому линейный график изменения кривизны должен быть непрерывным. Непрерывность графиков кривизны обеспечивала применение переходных кривых между прямыми и круговыми линиями. В отечественной дорожной литературе укрепилось удачное понятие непрерывности — *плавность* трассы, введенное В.Ф. Бабковым [8].

Требование плавности дорог вначале выдвигалось только из эстетических соображений. Однако позднее статически удовлетворяющие участки были признаны более удобными и безопасными для движения с высокими скоростями. Это послужило основной причиной для начала проведения исследований, направленных на установление нормативов для элементов плана и продольного профиля трассы, которые бы обеспечивали плавность и ясность дороги [9].

Зарубежный опыт ландшафтного проектирования за довоенный период в отечественной литературе впервые обобщил В.Ф. Бабков [8], осветивший основные условия для достижения

плавности и ясности дорог и сформулировавший рекомендации по увязке дорог с ландшафтом. В.Ф. Бабков отмечал, что в перспективе будет исследован вопрос о теории проектирования трассы как пространственной линии, плавность которой нельзя обеспечить, рассматривая ее изолированно в плане и профиле.

Несмотря на наличие требований в нормативных документах, проектирование дорог с учетом зрительной плавности и увязки с ландшафтом практически не получило широкого распространения.

Принципы пространственного проектирования не получили широкого внедрения в практику по причине недостаточной требовательности дорожных организаций-заказчиков к проектным организациям. Этот факт иногда пытаются оправдать отсутствием литературы, формулирующей правила обеспечения пространственной плавности трасс, с чем нельзя согласиться, так как еще в 1961 г. на русском языке были опубликованы книги М. Госа и В. Веселы [10].

Обоснованным представляется мнение о том, что безразличное, иногда и отрицательное отношение заказчиков проектов к обеспечению плавности и ясности дороги, связано с обязательным увеличением капитальных вложений в строительство. Еще до недавнего времени на часто задаваемый вопрос о том, какой эффект достигается улучшением плавности и ясности дороги, отдельные энтузиасты ландшафтного проектирования не могли дать убедительный ответ.

Поскольку пространственное проектирование лесовозных автомобильных дорог сложнее, обычного раздельного проектирования плана и профиля поддерживается и большинство проектировщиков. Конечно, объяснять слабое внедрение ландшафтного проектирования только недостатком внимания заказчиков и проектировщиков нельзя. Важной причиной, на наш взгляд, является отсутствие достаточно разработанной и научно обоснованной теории пространственного проектирования лесовозных автомобильных дорог, а также недостаточный опыт [11–14].

Отечественные специалисты широко включились в разработку принципов и средств ландшафтного проектирования не так давно, основное внимание уделяя специальным методам проверки зрительной плавности. Для изображения участков автомобильных дорог по широкому проекту П.В. Панов разработал метод изготовления программных перспектив. Метод оценки трассы перемещающейся точки зрения предложил Кульминский [15].

И.В. Бегмой и Е.С. Томаревской были сформулированы некоторые положения методики учета требований зрительной плавности и ясности

дороги в направлении движения, а также предложены некоторые показатели оценки зрительной плавности и рекомендованы новые величины отдельных геометрических элементов, обеспечивающие зрительную плавность [16–18].

Разработке теоретических вопросов архитектурного проектирования дорог посвящены труды Н.В. Орнатского [19].

Существовало мнение, что пространственную плавность и ясность дорог обеспечивают следующие условия:

- наличие оптимальных соотношений элементов трассы в пределах зон орошения в ландшафтных бассейнах и приемлемой для водителей тени кривизны кромок проезжей части дороги в перспективе;

- постепенность переходов между смежными элементами трасс;

- постепенность переломов кромок проезжей части на участках виражей.

До настоящего времени наименее изучена проблема обеспечения ясности и зрительно допустимой степени кривизны дороги. К зрительно ясным относятся криволинейные в пространстве участки дороги, если направление изогнутости всех линий, описывающих бровки земляного полотна, кромок покрытия и полосы движения на перспективных изображениях, соответствуют направлению изогнутости их линий в плане трассы. Понятия плавности и зрительной ясности в целом иногда принято объединять понятием «рациональность».

Вопрос о рациональных сочетаниях элементов плана и профиля впервые поставлен Ф. Геллером. Он отметил, что плавность дороги нарушается при несогласованных величинах элементов плана и продольного профиля. Такое же мнение о характере продольной линии высказал С. Солдатов [20–21].

Первые теоретические исследования закономерностей образований пространственных кривых при сочетании элементов плана и продольного профиля опубликованы Г. Лоренцом. Ему принадлежит следующий вывод: если две прямые различного направления расположены в одной плоскости, то они пересекаются и ... ход от одного направления к другому осуществляется посредством плоской кривой, т. е. две прямые в пространстве, имеющие различные направления и уклоны, не пересекаются. Соединять их в пространстве Г. Лоренц предлагал с помощью пространственной кривой в виде винтовой линии с постоянным возрастным или убывающим шагом [22–25].

Согласно этой идее, переход от одного пространственного направления к другому должен осуществляться по боковой поверхности цилиндра, основанием которого служит участок кривой.

Полученные таким образом на поверхности цилиндра кривые представляют собой винтовые линии. Если проектная линия в продольном профиле в пределах кривой — прямая, то образуется винтовая линия постоянного шага. Если уклон линии в пределах цилиндрической поверхности переменный, то образуется винтовая кривая переменного шага. Желательно, чтобы шаг кривой в развертке был плавно изменяющимся. Этому названию, согласно исследованиям Х. Каспера, полностью удовлетворяет веревочная кривая, поскольку уклон ее изменяется пропорционально длине кривой, а не величине абсциссы.

Позднее Г. Лоренц сделал важный вывод относительно принципов проектирования плана и профиля. Плавный план и продольный профиль придают плавность трассе в пространстве, в том случае, если они согласованы между собой.

По Г. Лоренцу, идеальное закругление в пространстве можно создать путем совмещения начальных и конечных точек кривых в плане и продольном профиле. Хотя Г. Лоренц исследовал только сочетания круговых кривых, в дальнейшем этот принцип был распространен и на сочетание клотоид в плане с круговыми кривыми в профиле [4, 7, 9].

Вкладом Ф. Фрейсинга в теорию проектирования пространственно новых трасс можно считать уточнение основной рекомендации для случаев, когда сочетаемые кривые имеют резко различающийся геометрический характер.

Ф. Фрейсинг указал и на иную возможность устранения зрительных деформаций дороги, видимых с помощью вставок между обратными вертикальными кривыми, которые перекрывали бы начальные участки обоих сопряженных клотоид.

Вопросам пространственной геометрии трассы были посвящены также исследования Е.С. Томаревской, Д.Н. Афоничева, В.Г. Козлова, Е.В. Кондрашовой, В.К. Курьянова и др.

Поверхность автомобильной дороги в перспективе характеризуют проекции оси, бровок дорожного полотна, кромок проезжей части и очерк — линия, которая отделяет видимую часть проекции дороги от невидимой. Очерк неразвертываемой поверхности в перспективе представляется кривой линией, которая может у водителя создать ложное представление о действительной форме поперечного профиля дороги. Наоборот, очерк развертываемой поверхности верно воспроизводит форму поперечного профиля.

Пространственные линии в перспективе изображаются обыкновенными точками или имеют точку перегиба (ТП), которая может быть постоянной (проекция действительной ТП кривой) или оптимальной (соответствующей обыкновенной точке на пространственной прямой). Поскольку



последняя точка меняет свое место при перемещении точки зрения, ее называют оптической ТП [2, 6, 10].

И.В. Бегма и Е.С. Томаревская отмечают, что подвижность оптической точки перегиба при перемещении центра проекции (что происходит с глазом водителя при движении) может создать у водителя иллюзию движущейся волны дорожного полотна («вибрация дороги») [1].

Центральная проекция и план пространственной кривой должны быть родственными, поскольку считается, что элементы плана дороги оказывают большее влияние на режим движения, чем элементы продольного профиля.

Исследования центральных проекций пространственных кривых, приведенные Ф. Фрейсингом, Е.С. Томаревской и др., имеют преимущественно теоретическое значение [1, 2]. Наблюдения на дорогах показывают, что при соотношениях геометрических элементов трассы, определяемых современными техническими условиями проектирования дорог, водитель при движении не может зрительно воспринимать дорогу в целом, и особенно лесовозную автомобильную дорогу. Поэтому встречающаяся в литературе рекомендация во всех случаях избегать сочетаний плана и профиля, образующих поверхность дороги, описанную по геликоиду, практически часто представляется неуместной. В связи с этим важно определить условия, в которых можно ожидать заметные оптические деформации пространственных кривых. Практический интерес представляет также определение области рационального применения плоских кривых. Однако решение этой задачи будет возможным только после определения величины воспринимаемых отклонений от плавной и ясной линии при разных расстояниях до участка, где наблюдаются деформации.

## Выводы

Обзор литературы по пространственному проектированию дорог, в целом, и в частности, лесовозных автомобильных, свидетельствует о том, что вопросу рационального сочетания элементов и профиля уделяется достаточно большое внимание во многих странах.

В результате обзора и анализа опыта различных авторов пространственного проектирования были определены направления дальнейшего совершенствования методологических основ пространственного проектирования лесовозных автомобильных дорог для обеспечения ясности и зрительно допустимой степени кривизны пространственных кривых. Для оценки плавности дороги необходимы математические показатели и объективные критерии. До тех пор, пока

сами понятия «плавность дороги» и «реальная ясность» недостаточно определены с математической точки зрения, не могут быть предложены и их количественные характеристики.

## Список литературы

- [1] Чудинов С.А. Повышение эффективности инженерно-геодезических изысканий при проектировании лесовозных дорог // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе, 2020. Т. 1. С. 359–363.
- [2] Cantarella G.E., Pavone G., Vitetta A. Heuristics for urban road network design: Lane layout and signal settings // *European J. of Operational Research*, 2006, v. 175 (3), pp. 1682–1695.
- [3] Fedotov A.I., Tikhov-Tinnikov D.A., Ovchinnikova N.I., Lysenko A.V. Simulation of car movement along circular path // *Innovations and prospects of development of mining machinery and electrical engineering – Mechanical engineering*. Institute of Physics Publishing, 2017, pp. 082018.
- [4] Chen Z., He F., Yin Y., Du Y. Optimal design of autonomous vehicle zones in transportation networks // *Transportation Research. Part B: Methodological*, 2017, v. 99, pp. 44–61.
- [5] Simniceanu L. The study of the car's stability using a simplified model // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019, no. 568(1). DOI:10.1088/1757-899x/568/1/012053
- [6] Dantzig G.B., Harvey R.P., Lansdowne Z.F., Robinson D.W., Maier, S.F. Formulating and solving the network design problem by decomposition // *Transportation Research Part B*, 1979, v. 13 (1), pp. 5–17.
- [7] Davis G.A. Exact local solution of the continuous network design problem via stochastic user equilibrium assignment // *Transportation Research Part B*, 1994, v. 28 (1), pp. 61–75.
- [8] Бабков В.Ф., Андреев О.В. Проектирование автомобильных дорог. Ч.1. М.: Книга по Требованию, 2013. 368 с.
- [9] Dixit V.V., Chand S., Nair D.J. Autonomous vehicles: Disengagements, accidents and reaction times // *PLoS ONE*, 2016, v. 11 (12), art. no. 0168054.
- [10] Гос М., Веселы В. Трассирование дорог с учетом ландшафта / Под ред. Н.В. Орнатского. М.: Автотрансиздат, 1961. 144 с.
- [11] Farah H., Erkens S.M.J.G., Alkim T., van Arem B. Infrastructure for automated and connected driving: state of the art and future research directions // *Road Vehicle Automation 4, Lecture Notes in Mobility*, 2018, pp. 187–197.
- [12] Zavrzhnov A.I., Belyaev A.N., Zelikov V.A., Mikheev N.V. Designing mathematical models of geometric and technical parameters for modern road-building machines versus the main parameter of the system // *Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology Proceedings of the International Symposium «Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research» dedicated to the 85-th anniversary of H.I. Ibragimov (ISEES 2019)*, 2019, pp. 823–827.
- [13] Favaro F., Eurich S., Nader N. Autonomous vehicles' disengagements: Trends, triggers, and regulatory limitations // *Accident Analysis and Prevention*, 2018, v. 110, pp. 136–148.
- [14] Hardman S., Lee J.H., Tal G. How do drivers use automation? Insights from a survey of partially automated vehicle owners in the United States // *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2019, 129, pp. 246–256.
- [15] Fischetti M., Ljubić I., Monaci M., Sinnl M. On the use of intersection cuts for bilevel optimization // *Mathematical Programming*, 2018, v. 172 (1–2), pp. 77–103.

- [16] Бегма И.В., Томаревская Е.С. Проектирование автомобильной дороги с учетом зрительного восприятия. М.: Автотрансиздат, 1963, 76 с.
- [17] Бегма И.В., Михно О.Д., Томаревская Е.С. Учет полей невидимости при трассировании дорог // Автомобильные дороги, 1967. № 2. С. 23–24.
- [18] Калужский Я.А., Бегма И.В., Кисляков В.М., Филиппов В.В. Применение теории массового обслуживания в проектировании дорог. М.: Транспорт, 1969. 136 с.
- [19] Орнатский Н.В. Устройство и содержание грунтовых дорог. М.: Транспечать НКПС, 1929. 32 с.
- [20] Tarmaev A.A., Petrov G.I., Filippov V.N. Analysis of freight cars wheels wear based on mathematical modeling of the dynamics of their movement // J. of Physics: Conference Series. Institute of Physics Publishing, 2019, pp. 012087.
- [21] Joševski M., Katriniok A., Riek A., Abel D. Disturbance estimation for longitudinal vehicle dynamics control at low speeds // IFAC-PapersOnLine, 2017, no. 50(1), pp. 987–993.
- [22] Więckowski D., Pusty T., Jędrzyński P. Influence of the vertical load exerted by the trailer on the coupling device on towing vehicle's steerability and stability // IOP Publishing IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 2016, v. 148, pp. 012031. DOI: 10.1088/1757-899X/148/1/012031
- [23] Abdullah M.A., Jamil J.F., Salim M.A. Dynamic performances analysis of a real vehicle driving // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2015, no. 100(1). DOI: 10.1088/1757-899X/100/1/012017
- [24] Stroganov Y.N., Stroganova Yu.O., Ognev O.G. Improving design safety of tractor-trailers by upgrading towing couplers // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019, v. 1, iss. 632, pp. 12028.
- [25] Sun C., Wang J., Xie L., Chu D., Liu L. Research on road safety evaluation in curves based on TruckSim-simulink co-simulation // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, v. 6, iss. 392, pp. 062157. DOI:10.1088/1757-899X/392/6/062157

## Сведения об авторах

**Боровлев Антон Олегович** — экстерн Воронежского государственного университета инженерных технологий, skrypnikovvsafe@mail.ru

**Скрыпников Алексей Васильевич** — д-р техн. наук, декан факультета «Управление и информатика в технологических системах» ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», skrypnikovvsafe@mail.ru

**Брюховецкий Андрей Николаевич** — докторант Воронежского государственного университета инженерных технологий, skrypnikovvsafe@mail.ru

**Тимофеев Вадим Александрович** — экстерн Воронежского государственного университета инженерных технологий, skrypnikovvsafe@mail.ru

**Прокопец Владимир Сергеевич** — экстерн Воронежского государственного университета инженерных технологий, skrypnikovvsafe@mail.ru

Поступила в редакцию 22.04.2021.

Принята к публикации 12.05.2021.

## PRINCIPLES OF SPATIAL DESIGN FOR HAULAGE ROADS

**A.O. Borovlev, A.V. Skrypnikov, A.N. Bryukhovetsky, V.A. Timofeev, V.S. Prokopets**

Voronezh State University of Engineering Technologies, 19, Revolution av., 394036, Voronezh, Russia

borov.borov.ar@yandex.ru

The purpose of the study is to review and analyze the experience of specialists in the field of spatial design of haulage roads for further improving the methodological foundations by providing clarity and visually acceptable degree of spatial curves. Drivers perception of the haulage road as well as overspeeding lead to critical situations or road accidents. A decrease in speed at seemingly abrupt bends on the road affects the efficiency of the log trucking transport. Therefore, the perspective view of the road should clearly orient the driver, that is, be visually clear, clearly changing, ensuring the constancy or modulated reduction of the traffic condition. The need for an optimal spatial solution of the road increases. It is required to determine the conditions under which the visual smoothness and clarity of the most common simple spatial curves when looking from points corresponding to the normal position of the eyes of car drivers is ensured.

**Keywords:** road, spatial curves, visual smoothness, design, longitudinal profile, curvature

**Suggested citation:** Borovlev A.O., Skrypnikov A.V., Bryukhovetsky A.N., Timofeev V.A., Prokopets V.S. *Obzor printsiipov prostranstvennogo proektirovaniya lesovoznykh avtomobil'nykh dorog* [Principles of spatial design for haulage roads]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 5, pp. 119–124.

DOI: 10.18698/2542-1468-2021-5-119-124

## References

- [1] Chudinov S.A. *Povyshenie effektivnosti inzhenerno-geodezicheskikh izyskaniy pri proektirovanii lesovoznykh dorog* [Improving the efficiency of engineering and geodetic surveys in the design of forest roads]. *Modernizatsiya i nauchnye issledovaniya v transportnom komplekse* [Modernization and research in the transport complex], 2020, v. 1, pp. 359–363.
- [2] Cantarella G.E., Pavone G., Vitetta A. Heuristics for urban road network design: Lane layout and signal settings. *European J. of Operational Research*, 2006, v. 175 (3), pp. 1682–1695.

- [3] Fedotov A.I., Tikhov-Tinnikov D.A., Ovchinnikova N.I., Lysenko A.V. Simulation of car movement along circular path. Innovations and prospects of development of mining machinery and electrical engineering – Mechanical engineering. Institute of Physics Publishing, 2017, pp. 082018.
- [4] Chen Z., He F., Yin Y., Du Y. Optimal design of autonomous vehicle zones in transportation networks. Transportation Research. Part B: Methodological, 2017, v. 99, pp. 44–61.
- [5] Simniceanu L. The study of the car's stability using a simplified model. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019, no. 568(1). DOI:10.1088/1757-899x/568/1/012053
- [6] Dantzig G.B., Harvey R.P., Lansdowne Z.F., Robinson D.W., Maier, S.F. Formulating and solving the network design problem by decomposition. Transportation Research Part B, 1979, v. 13 (1), pp. 5–17.
- [7] Davis G.A. Exact local solution of the continuous network design problem via stochastic user equilibrium assignment. Transportation Research Part B, 1994, v. 28 (1), pp. 61–75.
- [8] Babkov V.F., Andreev O.V. *Proektirovanie avtomobil'nykh dorog* [Road design]. Part I. Moscow: Book on Demand, 2013, 368 p.
- [9] Dixit V.V., Chand S., Nair D.J. Autonomous vehicles: Disengagements, accidents and reaction times. PLoS ONE, 2016, v. 11 (12), art. no. 0168054.
- [10] Gos M., Vesely V. *Trassirovanie dorog s uchetom landshafta* [Tracing roads taking into account the landscape]. Ed. N.V. Ornaty. Moscow: Avtotransizdat, 1961, 144 p.
- [11] Farah H., Erkens S.M.J.G., Alkim T., van Arem B. Infrastructure for automated and connected driving: state of the art and future research directions. Road Vehicle Automation 4, Lecture Notes in Mobility, 2018, pp. 187–197.
- [12] Zavrazhnov A.I., Belyaev A.N., Zelikov V.A., Mikheev N.V. Designing mathematical models of geometric and technical parameters for modern road-building machines versus the main parameter of the system. Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology Proceedings of the International Symposium «Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research» dedicated to the 85-th anniversary of H.I. Ibragimov (ISEES 2019), 2019, pp. 823–827.
- [13] Favaro F., Eurich S., Nader N. Autonomous vehicles' disengagements: Trends, triggers, and regulatory limitations. Accident Analysis and Prevention, 2018, v. 110, pp. 136–148.
- [14] Hardman S., Lee J.H., Tal G. How do drivers use automation? Insights from a survey of partially automated vehicle owners in the United States. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2019, v. 129, pp. 246–256.
- [15] Fischetti M., Ljubić I., Monaci M., Sinnl M. On the use of intersection cuts for bilevel optimization. Mathematical Programming, 2018, v. 172 (1–2), pp. 77–103.
- [16] Begma I.V., Tomarevskaya E.S. *Proektirovanie avtomobil'noy dorogi s uchetom zritel'nogo vospriyatiya* [Designing a road taking into account visual perception]. Moscow: Avtotransizdat, 1963, 76 p.
- [17] Begma I.V., Mikhno O.D., Tomarevskaya E.S. *Uchet poley nevidimosti pri trassirovanii dorog* [Accounting for invisibility fields when tracing roads]. *Avtomobil'nye dorogi* [Automobile roads], 1967, no. 2, pp. 23–24.
- [18] Kaluzhskiy Ya.A., Begma I.V., Kislyakov V.M., Filippov V.V. *Primenenie teorii massovogo obsluzhivaniya v proektirovanii dorog* [Application of queuing theory in road design]. Moscow: Transport, 1969, 136 p.
- [19] Ornaty N.V. *Ustroystvo i soderzhanie gruntovykh dorog* [Construction and maintenance of dirt roads]. Moscow: Transpechat' NKPS, 1929, 32 p.
- [20] Tarmaev A.A., Petrov G.I., Filippov V.N. Analysis of freight cars wheels wear based on mathematical modeling of the dynamics of their movement. J. of Physics: Conference Series. Institute of Physics Publishing, 2019, pp. 012087.
- [21] Joševski M., Katriniok A., Riek A., Abel D. Disturbance estimation for longitudinal vehicle dynamics control at low speeds. IFAC-PapersOnLine, 2017, no. 50(1), pp. 987–993.
- [22] Więckowski D., Pusty T., Jędrzyński P. Influence of the vertical load exerted by the trailer on the coupling device on towing vehicle's steerability and stability. IOP Publishing IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 2016, v. 148, pp. 012031. DOI: 10.1088/1757-899X/148/1/012031
- [23] Abdullah M.A., Jamil J.F., Salim M.A. Dynamic performances analysis of a real vehicle driving. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2015, no. 100(1). DOI: 10.1088/1757-899X/100/1/012017
- [24] Stroganov Y.N., Stroganova Yu.O., Ognev O.G. Improving design safety of tractor-trailers by upgrading towing couplers. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019, v. 1, iss. 632, pp. 12028.
- [25] Sun C., Wang J., Xie L., Chu D., Liu L. Research on road safety evaluation in curves based on TruckSim-simulink co-simulation. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, v. 6, iss. 392, pp. 062157. DOI:10.1088/1757-899X/392/6/062157

## Authors' information

**Borovlev Anton Olegovich** — External student of the Voronezh State University of Engineering Technologies, skrypnikovvsafe@mail.ru

**Skrypnikov Aleksey Vasil'evich** — Dr. Sci. (Tech.), Dean of the Faculty of «Management and Informatics in technological systems» of the Voronezh State University of Engineering Technologies, skrypnikovvsafe@mail.ru

**Bryukhovetskiy Andrey Nikolaevich** — Ph.D. student of the Voronezh State University of Engineering Technologies, skrypnikovvsafe@mail.ru

**Timofeev Vadim Aleksandrovich** — External student of the Voronezh State University of Engineering Technologies, skrypnikovvsafe@mail.ru

**Prokopets Vladimir Sergeevich** — External student of the Voronezh State University of Engineering Technologies, skrypnikovvsafe@mail.ru

Received 22.04.2021.

Accepted for publication 12.05.2021.



## ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАЗМЫ В МАГНЕТРОННОМ РАЗРЯДЕ С ПОЛЫМ КАТОДОМ

С.В. Кладько, Н.П. Полуэктов, И.И. Усатов

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

poluekt@mgul.ac.ru

Приведены результаты влияния магнитного поля на характеристики плазмы в магнетронном разряде с полым катодом. Магнитное поле в данной установке имеет сложную геометрию силовых линий, поскольку состоит из множества постоянных магнитов и электромагнита. Проведены расчеты геометрии магнитного поля, которые были использованы в экспериментах. Показано, что величина и геометрия магнитного поля оказывают сильное влияние на параметры плазмы.

**Ключевые слова:** магнетрон с полым катодом, расчет магнитного поля, программа FEMM

**Ссылка для цитирования:** Кладько С.В., Полуэктов Н.П., Усатов И.И. Влияние магнитного поля на характеристики плазмы в магнетронном разряде с полым катодом // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 5. С. 125–130. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-5-125-130

В лаборатории кафедры Кб «Высшая математика и физика» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал) создан источник высокоплотной плазмы на основе магнетрона с полым катодом (МПК), который применяется для осаждения пленок различных материалов методом распыления [1]. При использовании данного метода в результате бомбардировки катода-мишени положительными ионами инертного газа происходит выбивание атомов металла, которые осаждаются на подложке. Особенности этого разряда являются высокая концентрация плазмы (более  $10^{12}$  см<sup>-3</sup> при давлении 0,1...3,0 Па), создаваемая в большом объеме (десятки сантиметров кубических), низкая (10...50 эВ) и легко изменяемая энергия ионов, приходящих на подложку. Такие параметры плазмы позволяют ионизовать распыленные атомы металла на их пути от мишени к подложке. Пленки, полученные в результате осаждения ионов, имеют более высокие плотность, адгезию, твердость и гладкость поверхности.

Для еще большего повышения степени ионизации потока атомов мишени с начала 2000 г. началось исследование магнетронов, в которых стационарный источник питания заменяется на импульсный-периодический, работающий в режиме мощных импульсов (максимум силы тока 100...1000 А) при длительности разряда  $\tau = 10...300$  мкс, периоде разряда  $T = 100...500$  Гц, коэффициенте заполнения  $\tau/T$  менее 10 %. Плотность ионного тока на мишени превышала 1 А/см<sup>2</sup>, что на порядок больше, чем в стационарных магнетронах. В зарубежной литературе этот тип разряда называют HiPIMS (High Power Impulse Magnetron Sputtering) [2–5]. В нашей установке мишень была изготовлена из графита с целью получения алмазоподобных пленок (АПП), которые представляют собой универсальный материал, демонстрирующий превосходные меха-

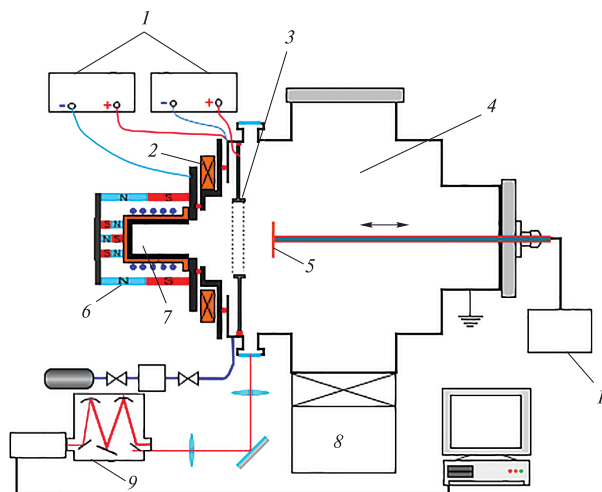
нические, электрические и оптические свойства [6, 7]. Благодаря этим свойствам АПП широко используются для защиты поверхностей в режущих инструментах [8], магнитных накопителях [9], биомедицинских устройствах [10], просветляющих покрытиях и оптических сенсорах [11]. Свойства тонких АПП определяются конфигурацией связи (доля гибридизации sp<sup>3</sup> против sp<sup>2</sup>) ее атомов углерода. Образование АПП на подложке происходит, когда ион углерода приходит на нее с энергией более 35 эВ. Таким образом, сначала необходимо ионизовать атом углерода, вылетевший из мишени, а затем ускорить его до энергии порядка 100 эВ. Известно, что атом углерода ионизировать трудно, даже в HiPIMS разряде [12–14]. Это связано с тем, что энергия ионизации атома углерода  $E_{\text{ион}} = 11,3$  эВ, тогда как для металлов  $E_{\text{ион}}$  находится в диапазоне 6...8 эВ. Сечение ионизации атома углерода при столкновении с электронами также значительно меньше, чем у металлов. В магнетронном разряде с плоским катодом область плазмы с концентрацией  $10^{12}$  см<sup>-3</sup> находится на расстоянии нескольких сантиметров от катода. В МПК объем плазмы с высокой концентрацией электронов на порядок больше, поэтому вероятность ионизации распыленных атомов углерода увеличивается и улучшаются условия для получения АПП.

### Цель работы

Цель работы — исследование влияния величины и геометрии магнитного поля на параметры плазмы в МПК.

### Объект исследования

Схема установки представлена на рис. 1. Катод МПК представляет собой закрытый с одной стороны медный цилиндр (диаметр 80 мм, длина 55 мм), охлаждаемый водой. В него вставлена



**Рис. 1.** Схема экспериментальной установки: 1 — блоки питания; 2 — электромагнит; 3 — анодное кольцо; 4 — вакуумная камера; 5 — подложка; 6 — магниты; 7 — полый катод; 8 — насос; 9 — монохроматор  
**Fig. 1.** The experimental setup: 1 — power supplies; 2 — electromagnet; 3 — anode ring; 4 — vacuum chamber; 5 — substrate; 6 — magnets; 7 — hollow cathode; 8 — pump; 9 — monochromator

цилиндрическая мишень из графита внутренним диаметром 60 мм, длиной 60 мм. Магнитная система в данном МПК сложная. Она состоит из постоянных магнитов, расположенных вокруг цилиндрической части и за дном мишени, и электромагнита, магнитное поле которого направлено навстречу полю постоянных магнитов. Магнитное поле создается столбиками магнитов из сплава Fe-Nd-B, расположенных вокруг катода. Концы столбиков соединены кольцевыми железными магнитопроводами. Вблизи выходного сечения МПК установлен электромагнит, поле которого направлено навстречу магнитному полю постоянных магнитов.

Магнитная пробка, образуемая такой конструкцией, удерживает вторичные электроны внутри катода. Характеристики плазмы МПК сильно зависят от конфигурации магнитного поля. Разряд происходит при низком давлении 0,5...3 Па. Магнитное поле удерживает значительную часть электронов плазмы вблизи поверхности катода. Плазма вытекает из полого катода вдоль его оси в виде узкой струи диаметром 2 см, т. е. неоднородной по радиусу. Подложка, на которую необходимо осаждать пленку, имеет диаметр 6 см, поэтому эту струю необходимо расширить. Магнитное поле электромагнита расширяет поток плазмы и, изменяя ток электромагнита, можно регулировать радиальную однородность плазмы вблизи подложки.

Таким образом, качество получаемых пленок зависит от параметров плазмы, которые в свою очередь, определяются геометрией силовых ли-

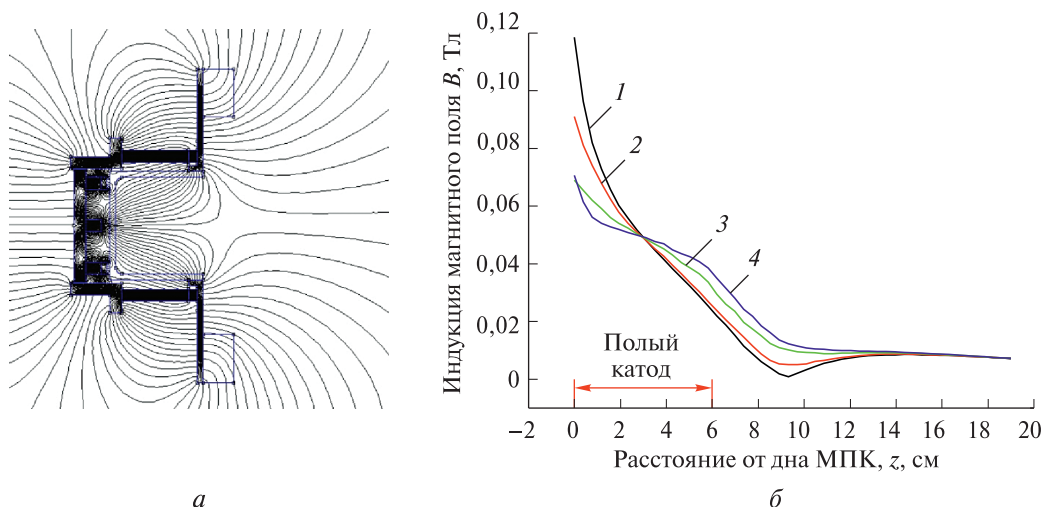
ний магнитного поля. В частности, чем больше магнитное поле внутри полого катода, тем выше концентрация плазмы и вероятность ионизации распыленных атомов углерода. Чем больше ионов углерода, тем выше качество АПП. Однако большое магнитное поле уменьшает напряжение разряда, соответственно снижается коэффициент распыления (количество атомов мишени, выбиваемых одним ионом), а значит, и скорость осаждения. Конфигурация магнитных силовых линий влияет на траекторию движения замагниченных электронов, а вследствие амбиполярной диффузии, также ионов углерода на подложку. Данные рассуждения показывают важную зависимость величины и геометрии магнитного поля на параметры АПП.

Геометрию и величину магнитного поля можно изменять количеством постоянных магнитов, а также силой тока электромагнита. Конфигурация и величина магнитного поля для некоторого набора постоянных магнитов была измерена с помощью трехмерного датчика Холла, созданного в лаборатории, но это потребовало значительных затрат времени. Использование компьютерных программ расчета магнитного поля позволяет значительно быстрее исследовать различные варианты полей.

## Результаты и обсуждение

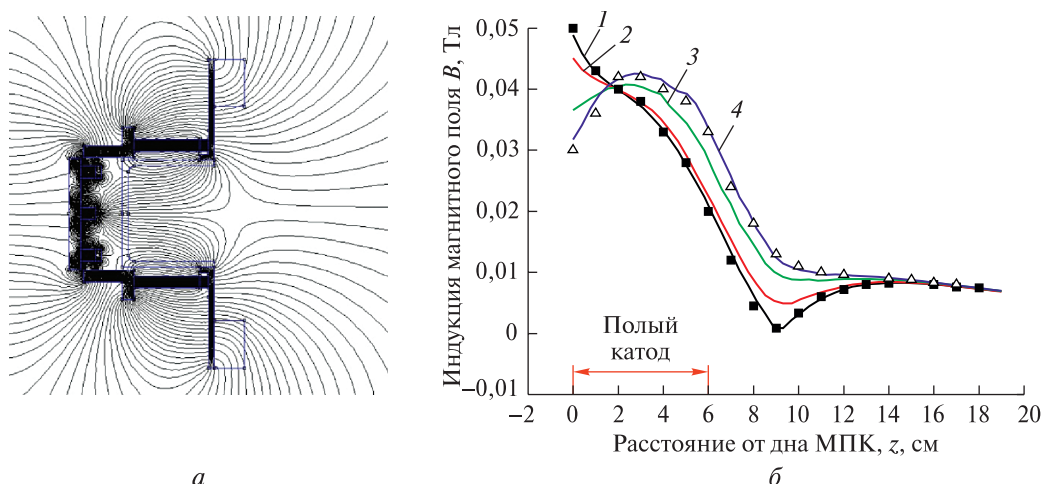
Для расчета магнитного поля была выбрана программа FEMM 4.2 [15, 16] как наиболее надежная, доступная, простая, к тому же, поддерживается Lua-скриптингом. На рис. 2 приведен расчет магнитного поля в диаметральной плоскости, когда постоянные магниты, установленные позади дна полого катода (торцевые магниты) максимально придвинуты к катоду и оказывают существенное влияние на конфигурацию магнитного поля внутри полого катода. На рис. 2, а представлена конфигурация магнитных силовых линий, а на рис. 2, б — распределение магнитной индукции на разных радиусах. Из рис. 2, б видно, что минимум индукции  $B$  находится на расстоянии 9,5 см, т. е. 3,5 см от среза катода.

На рис. 3 представлен расчет подобных характеристик, но в этом случае торцевые магниты отодвинуты на расстояние 1,5 см от катода и не оказывают влияния на конфигурацию магнитного поля внутри полого катода. Обращает на себя внимание факт, что вблизи дна полого катода индукция магнитного поля в этом случае уменьшается в 2 раза. Из рис. 3, б следует, что минимум магнитного поля немного смещается ближе к катоду — на расстояние 3 см от среза катода. Результаты измерений трехмерного датчика Холла хорошо совпадают с результатами расчета.



**Рис. 2.** Расчет магнитного поля, когда торцевые магниты расположены вблизи дна катода: *a* — конфигурация магнитных силовых линий; *б* — распределение индукции  $B = \sqrt{B_z^2 + B_r^2}$  на разных радиусах,  $R$ , см: 1 — 0; 2 — 1; 3 — 2; 4 —  $R = 2,5$ ;  $I_{эл} = 1$  А

**Fig. 2.** Calculation of the magnetic field when the end magnets are located near the bottom of the cathode: *a* — configuration of magnetic field lines; *b* — distribution of magnetic induction  $B = \sqrt{B_z^2 + B_r^2}$  at different radii,  $R$ , cm: 1 — 0; 2 — 1; 3 — 2; 4 — 2,5;  $I_{el} = 1$  A



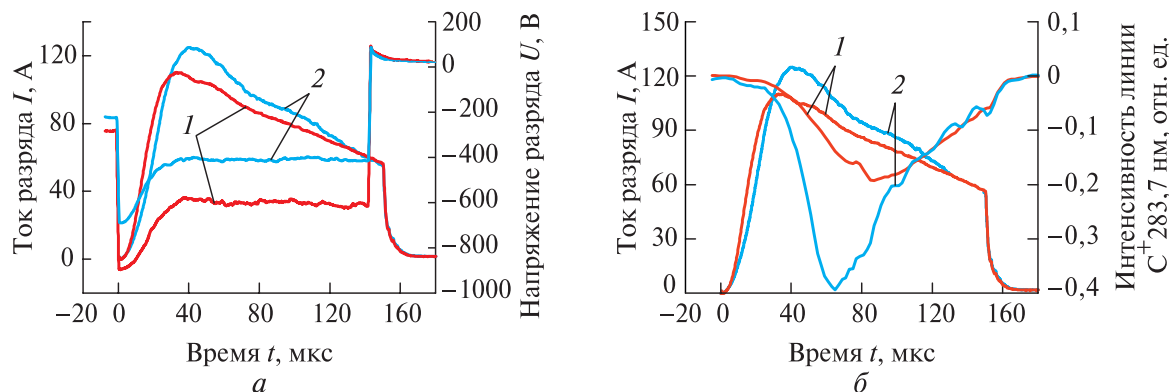
**Рис. 3.** Расчет магнитного поля, когда торцевые магниты отодвинуты на 1,5 см от дна катода: *a* — конфигурация магнитных силовых линий; *б* — распределение индукции  $B = \sqrt{B_z^2 + B_r^2}$  на разных радиусах,  $R$ , см: 1 — 0; 2 — 1; 3 — 2; 4 — 2,5;  $I_{эл} = 1$  А; без торцевых магнитов; ■, Δ — результаты измерений  $B$  с помощью датчика Холла

**Fig. 3.** Calculation of the magnetic field when the end magnets are moved 1,5 cm from the bottom of the cathode: *a* — configuration of magnetic field lines; *b* — distribution of magnetic induction  $B = \sqrt{B_z^2 + B_r^2}$  at different radii,  $R$ , cm: 1 — 0; 2 — 1; 3 — 2; 4 — 2,5;  $I_{el} = 1$  A; without bottom magnets; ■, Δ — the measurement results via the Hall sensor

Осциллограммы разрядного тока, напряжения и интенсивности спектрально линии  $C^+ 383,7$  нм иона углерода, показывают влияние магнитного поля торцевых магнитов на эти характеристики (рис. 4). В случае, когда торцевые магниты придвинуты (см. рис. 2), пик силы тока возрастает от 118 до 125 А, а напряжение уменьшается с 600 до 400 В. Торцевые магниты увеличивают магнитное поле вблизи дна, удерживают больше электронов, и концентрация плазмы внутри и снаружи полого катода увеличиваются. На рис. 4, б

приведена интенсивность спектральной линии иона углерода  $C^+ 283,7$  нм, измеренная на расстоянии 12 см от выходного сечения магнетрона. В результате подключения торцевых магнитов увеличивается вероятность ионизации расплывенных атомов мишени и интенсивность спектральной линии иона возрастает в 2 раза (синяя линия). Кроме того, с торцевыми магнитами изменяется скорость ионов, выходящих из полого катода — пик интенсивности иона углерода достигается на 20 мкс быстрее, чем без них (65 и 85 мкс соответственно).





**Рис. 4.** Влияние магнитного поля нижних магнитов на силу тока  $I$ , напряжение  $U$  разряда (а) и интенсивность спектральной линии иона углерода  $C^+$  283,7 нм (б); 1 — без нижних магнитов, 2 — с нижними магнитами;  $P = 2,66$  Па,  $I_{эл} = 1$  А

**Fig. 4.** Effect of the bottom magnets on discharge current  $I$  and voltage  $U$  (a) and on spectral line intensity of the carbon ion  $C^+$  283,7 nm (b); 1 — without the bottom magnets, 2 — with the bottom magnets;  $P = 2,66$  Pa,  $I_{el} = 1$  A

Зондовые измерения показали, что вблизи выходного сечения полого катода имеется сильное электрическое поле

$$E_z = -\frac{\partial U_p}{\partial z},$$

где  $U_p$  — потенциал плазмы.

Это поле ускоряет электроны, которые тянут за собой ионы вследствие амбиполярной диффузии. Дополнительным источником ускорения электронов может служить расходящиеся силовые линии магнитного поля. Тогда на электроны вдоль продольной оси  $z$  действует сила [17]:

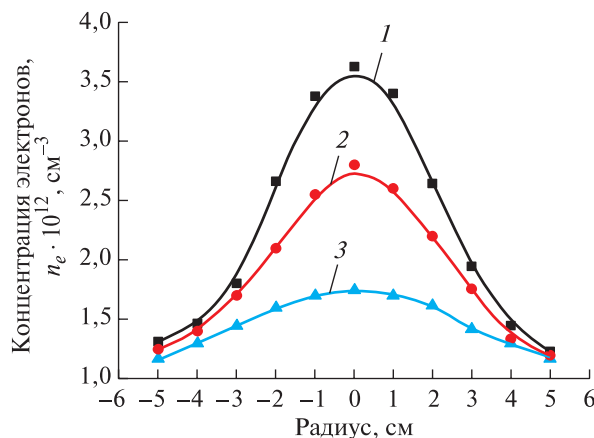
$$F_z = -\frac{m_e v_{\perp}^2}{2B_z} \frac{\partial B_z}{\partial z}.$$

Как следует из рис. 2, б и 3, б, градиент магнитного поля по оси  $z$  значительно увеличивается, когда торцевые магниты придвинуты к катоду.

На рис. 5 показано влияние магнитного поля электромагнита на поток плазмы в области расположения подложки, а также представлены измеренная зондом Лэнгмюра концентрация электронов для момента времени 60 мкс импульсного разряда с максимальным значением силы тока 160 А. Измерения проводились на расстоянии 12 см от магнетрона при разных токах электромагнита  $I_{эл}$ . Магнитное поле электромагнита направлено навстречу полю постоянных магнитов. Возрастание силы тока электромагнита, а следовательно, его поля значительно повышает радиальную однородность плазмы вблизи подложки. Однако увеличение радиальной однородности сопровождается уменьшением концентрации плазмы. Максимальное значение концентрации уменьшается в 2 раза при повышении силы тока электромагнита от 0 до 1 А.

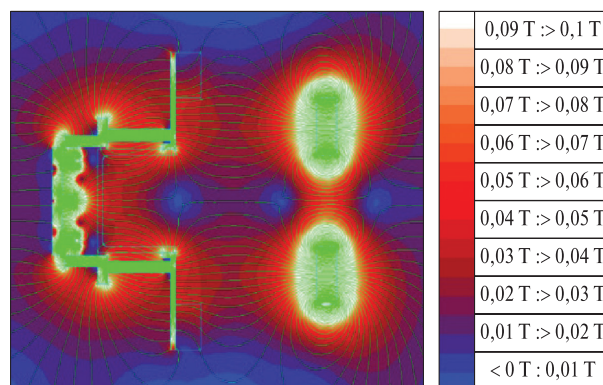
Для повышения однородности плазмы без значительного уменьшения ее концентрации за

подложкой, находящейся на расстоянии 13 см от МПК, был установлен кольцевой магнит. Распределение магнитных силовых линий приведено на рис. 6.

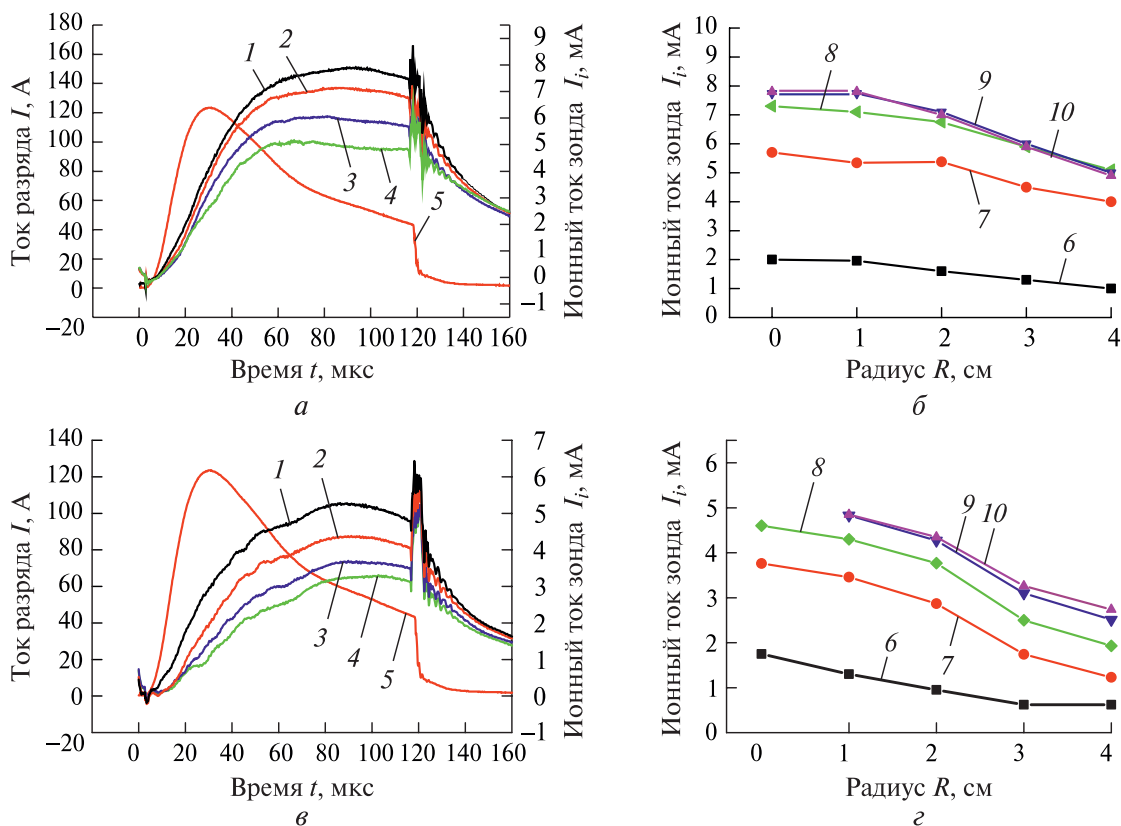


**Рис. 5.** Радиальное распределение концентрации электронов при разных значениях силы тока электромагнита  $I_{эл}$ , А: 1 — 0; 2 — 0,5; 3 — 1;  $z = 12$  см

**Fig. 5.** The radial distribution of electron density at different currents of the electromagnet  $I_{el}$ , A: 1 — 0; 2 — 0,5; 3 — 1;  $z = 12$  cm



**Рис. 6.** Магнитное поле с кольцевым магнитом за подложкой  
**Fig. 6.** Magnetic field with a ring magnet behind the substrate



**Рис. 7.** Влияние магнитного кольца за подложкой на поток плазмы перед ней: *a, в* — динамика ионного тока насыщения  $I_i$  на различных радиусах,  $R$ , см,  $z = 12$  см: 1 — 0; 2 — 2; 3 — 3; 4 — 4; 5 — ток разряда  $I_d$ , А; *б, з* — изменение радиального распределения  $I_i$  в течение импульсного разряда, мкс: 6 — 20; 7 — 40; 8 — 60; 9 — 80; 10 — 100; *a, б* — с магнитным кольцом; *в, з* — без магнитного кольца;  $I_{эл} = 0,7$  А

**Fig. 7.** Effect of the magnetic ring behind the substrate on the plasma flow to it: *a, в* — dynamics of the ion saturation current  $I_i$  at different radii,  $R$ , cm, for  $z = 12$  cm: 1 — 0; 2 — 2; 3 — 3; 4 — 4; 5 — discharge current  $I_d$ , А; *б, з* — temporal evolution of radial ion current distribution,  $\mu$ s: 6 — 20; 7 — 40; 8 — 60; 9 — 80; 10 — 100; *a, б* — with a magnetic ring; *в, з* — without a magnetic ring;  $I_{el} = 0,7$  А

Изменение потока плазмы, приходящего на подложку представлено на рис. 7. Динамика ионного тока насыщения  $I_i$  определена на различных радиусах (см. рис. 7, *a, в*). Ионный ток измерялся зондом на расстоянии 12 см от магнетрона (1 см перед подложкой), напряжение на зонде  $U_3 = -60$  В. Измерения проводились и с кольцевым магнитом (рис. 7, *a*), и без него (рис. 7, *в*). По полученным из рис. 7, *a, в* измерениям определено, как изменяется радиальное распределение ионного тока (плазмы) в течение импульсного разряда (рис. 7, *б, з*). Без кольцевого магнита однородность плазмы не превышает 60 %, а с кольцевым магнитом достигает 85 % на диаметре 6 см. Кроме того, с кольцевым магнитом концентрация плазмы увеличивается в 1,5 раза. Концентрации плазмы в МПК превышает  $10^{12}$  см $^{-3}$  на расстоянии 12 см от мишени, что на порядок больше, чем в магнетронном разряде с плоским катодом. Спектральные измерения показывают сильные линии ионов углерода, что создает возможности для получения АПП с улучшенными характеристиками.

## Выводы

Проведено моделирование различных конфигураций магнитного поля установки на основе магнетронного разряда с полым катодом. Магнитная система данной установки сложная, так как состоит из многих постоянных магнитов и электромагнита. Рассчитанные геометрии магнитного поля были использованы в экспериментальных исследованиях. Измерения показали, что величина и конфигурация магнитного поля оказывают сильное влияние на параметры плазмы. Сложная магнитная система дает возможность исследовать множество вариантов ее геометрии и выбрать оптимальную под определенную задачу.

## Список литературы / References

- [1] Tsar'gorodtsev Yu.P., Poluektov N.P., Usatov I.I., Evstigneev A.G., Kozlovskaya E.P., Amelkin O.O. Study of Metal Atom Ionization in a Hollow-Cathode Magnetron. Plasma Physics Reports, 2019, v. 45, no.6, pp. 558–567.
- [2] Alami J., Gudmundsson J.T., Bohlmark J., Birch J., Helmersson U. Plasma dynamics in a highly ionized pulsed magnetron discharge. Plasma Sources Sci. Technol., 2005, v. 14, pp. 525–531.

- [3] Anders A. Discharge physics of high power impulse magnetron sputtering. *Surf. Coat. Technol.*, 2011, v. 205, pp. 1–9.
- [4] Hecimovic A. Anomalous cross-B field transport and spokes in HiPIMS plasma. *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 2016, v. 49, pp. 1801–1806.
- [5] Ramana P., Shchelkanov I.A., McLain J., Ruzic D.N. High power pulsed magnetron sputtering: A method to increase deposition rate. *J. Vac. Sci. Technol.*, 2015, v. 33A, pp. 031304 (1–10).
- [6] Robertson J. Diamond-like amorphous carbon. *Mater. Sci. Eng.*, 2002, v. 37R, pp. 129–281.
- [7] Erdemir A., Donnet C.J. Tribology of diamond-like carbon films: Recent progress and future prospects. *Phys. D Appl. Phys.*, 2006, v. 39, p. 311–327.
- [8] Tillmann W., Vogli E., Hoffmann F. Wear-resistant and low-friction diamond-like-carbon (DLC)-layers for industrial tribological applications under humid conditions. *Surf. Coat. Technol.*, 2009, v. 204, p. 1040.
- [9] Ferrari A.C. Diamond-like carbon for magnetic storage disks. *Surf. Coat. Technol.*, 2004, v. 180–181, p. 190.
- [10] Stüber M., Niederberger L., Danneil F., Leiste H., Ulrich S., Welle A., Marin M., Fischer H. Surface Topography, Surface Energy and Wettability of Magnetron-Sputtered Amorphous Carbon (a-C) Films and Their Relevance for Platelet Adhesion. *Adv. Eng. Mater.*, 2007, v. 9, pp. 1114–1122.
- [11] Patsalas P. Optical properties of amorphous carbons and their applications and perspectives in photonics. *Thin Solid Films*, 2011, v. 519, pp. 3990–3996.
- [12] Aijaz A., Sarakinos K., Lundin D., Brenning N., Helmersson U. A strategy for increased carbon ionization. in magnetron sputtering discharges. *Diam. Relat. Mater.*, 2012, v. 23, pp. 1–4.
- [13] Anders A., Andersson J., Ehiasarian A. High power impulse magnetron sputtering: Current-voltage-time characteristics indicate the onset of sustained self-sputtering. *J. Appl. Phys.*, 2007, v. 102, pp. 113303.
- [14] Ganesan R., McCulloch D., Marks N.A., Tucker M.D., Partridge J.G., Bilek M.M., McKenzie D.R. Synthesis of highly tetrahedral amorphous carbon by mixed-mode HiPIMS sputtering. *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 2015, v. 48, pp. 442001.
- [15] Быковская Л.В., Быковский В.В., Сурков Д.В. Моделирование электрических и магнитных полей в программе FEMM. Оренбург: ОГУ, 2019. 100 с. Bykovskaya L.V., Bykovskiy V.V., Surkov D.V. *Modelirovanie elektricheskikh i magnitnykh poley v programme FEMM* [Simulation of electric and magnetic fields in the FEMM program]. Orenburg: OSU, 2019. 100 p.
- [16] Байда И. Расчет электромагнитных и тепловых полей с помощью программы FEMM. Харьков: Изд-во НТУ «ХПИ», 2015, 147 с. Bayda I. *Raschet elektromagnitnykh i teplovykh poley s pomoshch'yu programmy FEMM* [Calculation of electromagnetic and thermal fields using the FEMM program]. Kharkov: Publishing house of NTU «KHPi», 2015, 147 p.
- [17] Lieberman M.A., Lichtenberg A.J. Principles of Plasma Discharges and Materials Processing. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1994, 757 p.

## Сведения об авторах

**Кладько Стефан Валентинович** — студент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), [omicronpsi@mail.ru](mailto:omicronpsi@mail.ru)

**Полуэктв Николай Павлович** — д-р техн. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), [poluekt@mgul.ac.ru](mailto:poluekt@mgul.ac.ru)

**Усатов Игорь Игоревич** — канд. техн. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), [caf-physics@mgul.ac.ru](mailto:caf-physics@mgul.ac.ru)

Поступила в редакцию 26.05.2021.

Принята к публикации 01.07.2021.

## EFFECT OF MAGNETIC FIELD ON PLASMA CHARACTERISTICS IN MAGNETRON DISCHARGE WITH HOLLOW CATHODE

**Klad'ko S.V., Poluektov N.P., Usatov I.I.**

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

[poluekt@mgul.ac.ru](mailto:poluekt@mgul.ac.ru)

The effect of magnetic field on plasma characteristics in a magnetron with a hollow cathode was carried out. The magnetic field in this device is of complex geometry, since it consists of many permanent magnets and an electromagnet. The calculated geometries of the magnetic field were used in experimental studies. Measurements have shown that the magnitude and geometry of the magnetic field have a strong effect on the plasma parameters.

**Keywords:** hollow cathode magnetron, magnetic field calculation, FEMM program

**Suggested citation:** Klad'ko S.V., Poluektov N.P., Usatov I.I. *Vliyanie magnitnogo polya na kharakteristiki plazmy v magnetronnom razryade s polym katodom* [Effect of magnetic field on plasma characteristics in magnetron discharge with hollow cathode]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 5, pp. 125–130. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-5-125-130

## Author's information

**Klad'ko Stefan Valentinovich** — Student of the BMSTU (Mytishchi branch), [omicronpsi@mail.ru](mailto:omicronpsi@mail.ru)

**Poluektov Nikolay Pavlovich** — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), [poluekt@mgul.ac.ru](mailto:poluekt@mgul.ac.ru)

**Usatov Igor' Igorevich** — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), [caf-physics@mgul.ac.ru](mailto:caf-physics@mgul.ac.ru)

Received 26.05.2021.

Accepted for publication 01.07.2021.



## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ И СУПЕРПОЗИЦИОННЫХ ЗАКОНОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТЕЙ ОТКАЗОВ ПРИ ОЦЕНКЕ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

В.В. Алексеев<sup>1</sup>, Ю.П. Батырев<sup>2</sup>, М.А. Болдырев<sup>1</sup>,  
П.С. Воронцов<sup>1</sup>, Р.И. Князев<sup>1</sup>, Ю.Т. Котов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБУ «46 ЦНИИ» Минобороны России, 129327, Москва, Чукотский проезд, домовладение 10

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

kotov46@inbox.ru

Приведена реализация разработанного расчетного структурного метода оценки надежности сложных электротехнических изделий, в основе которого лежит использование сочетаний композиционных и суперпозиционных законов распределения вероятностей отказов. Дана оценка надежности вращающегося трансформатора типа ВТ-5. Проведено сравнение расчетных показателей надежности с результатами определительных испытаний ВТ-5 на надежность. Получена высокая сходимость результатов.

**Ключевые слова:** электротехнические изделия, надежность изделия, показатели надежности, структурная схема надежности, составляющий элемент изделия, закон распределения вероятностей отказов, суперпозиционный закон, композиционный закон

**Ссылка для цитирования:** Алексеев В.В., Батырев Ю.П., Болдырев М.А., Воронцов П.С., Князев Р.И., Котов Ю.Т. Использование композиционных и суперпозиционных законов распределения вероятностей отказов при оценке надежности электротехнических изделий военного назначения // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 5. С. 131–137. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-5-131-137

Современная тенденция непрерывного роста требований к надежности радиоэлектронной аппаратуры и к ее электронной компонентной базе привела к тому, что требования к гамма-процентной наработке до отказа, в том числе электротехнических изделий, достигают до 100 тыс. ч и более. Учитывая высокую стоимость проведения испытаний, значительные трудовые затраты, длительный срок проведения испытаний (около 12 лет) и многое другое, подтвердить указанные требования экспериментальным путем при значениях гамма, равных 95 и 99 %, довольно затруднительно [1–15].

### Цель работы

Цель работы — поиск других методов подтверждения указанных требований. Наиболее перспективным, на наш взгляд, является расчетный метод оценки надежности. Одним из вариантов его реализации является разработанный метод расчета показателей надежности электротехнических изделий [16].

### Материалы и методы

Разработанный структурный метод расчета показателей надежности электротехнических изделий включает в себя следующие основные положения:

1) формирование структурной схемы надежности электротехнических изделий на основе их поузлового представления, а при необходимости и дальнейшей детализации узлов на составляю-

щие элементы и их, в свою очередь, на комплектующие элементы;

2) определение видов композиционных законов распределения вероятностей отказов каждого рассматриваемого узла, составляющих и комплектующих элементов;

3) составление аналитического выражения суперпозиционного закона распределения вероятностей отказов электротехнического изделия с использованием аналитических выражений композиционных законов распределения вероятностей отказов узлов, построение гистограммы;

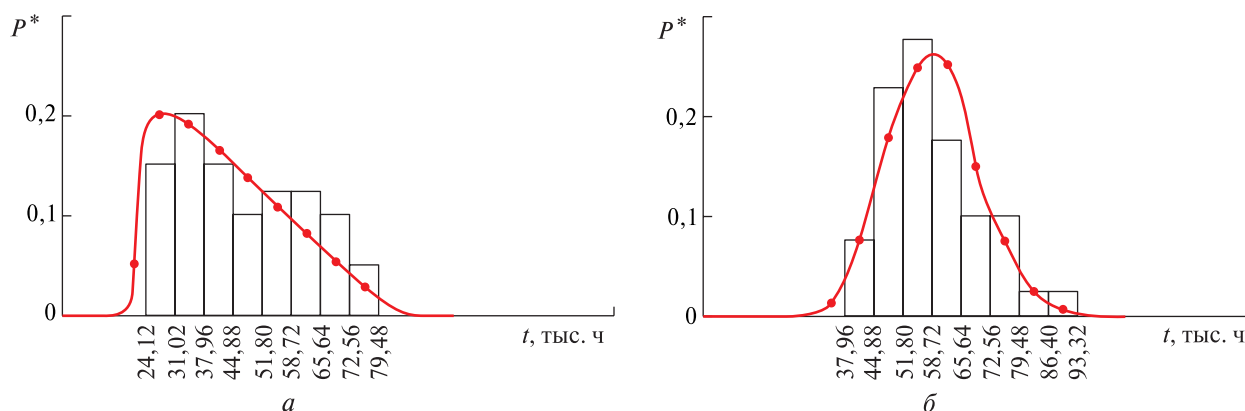
4) определение количественных показателей надежности изделия на основе полученной гистограммы.

Разработанный метод апробирован на конкретном изделии — вращающемся трансформаторе типа ВТ-5.

### Результаты и обсуждение

В ходе научно-исследовательской работы «Рубин» [17], направленной на определение количественных показателей надежности вращающихся трансформаторов типа ВТ-5, были проведены испытания их различных узлов, после чего было сформировано изделие и проведены его определительные испытания на надежность. Объем выборок составил по 40 шт. для основных узлов и для изделия.

Испытания ВТ-5 показали, что 90 % отказов зафиксировано у подшипникового узла, остальные — у контактного узла. Отказы обмоточного и конструктивного узлов не зафиксированы.

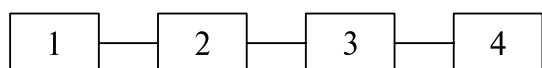


**Рис. 1.** Законы распределения вероятностей отказов подшипникового (а) и контактного (б) узлов вращающегося трансформатора типа ВТ-5:  $t$  — наработка ВТ-5,  $p^*$  — статистическая вероятность попадания конкретного значения наработки в рассматриваемый разряд гистограммы  
**Fig. 1.** Failures probability distribution law of bearing (a) and contact (b) units of a rotating transformer BT-5 type:  $t$  — the operating time of BT-5,  $p^*$  — the statistical probability of getting a specific value of the operating time into the considered bit of the histogram

Таким образом, по полученным данным испытаний подшипникового и контактного узлов, построены гистограммы отказов узлов. Полученные гистограммы согласуются с композиционными законами. Гистограммы и согласующиеся с ними композиционные законы распределения вероятностей представлены на рис. 1, а, б.

На рис. 1 композиционный закон показан в виде непрерывной кривой плотности распределения. Вид композиции один и тот же и для варианта а и для варианта б. Результаты согласования: для варианта а — математическое ожидание  $M = 46630$  ч, среднее квадратическое отклонение  $\sigma = 15395$  ч, диапазон закона  $d = 55880$  ч, критерий согласия хи-квадрат Пирсона  $\chi^2 = 6,38$ , вероятность согласования  $p = 0,39$ ; для варианта б —  $M = 58550$  ч,  $\sigma = 11803$  ч,  $d = 49900$  ч,  $\chi^2 = 5,97$ ,  $p = 0,43$ .

Формирование суперпозиционного закона распределения вероятностей отказов изделия осуществлялось на основе его структурных схем надежности с использованием законов распределения вероятностей отказов его узлов. На рис. 2 приведена структурная схема надежности рассматриваемого вращающегося трансформатора. Указанная последовательная структура отражает поузловое строение трансформатора типа ВТ-5 и означает, что отказ подшипникового (1), контактного (2), обмоточного (3) или конструктивно-механического (4) узла приведет к отказу всего изделия.



**Рис. 2.** Структурная схема надежности вращающегося трансформатора типа ВТ-5

**Fig. 2.** Block diagram of the BT-5 rotating transformer reliability

В общем (неявном) виде аналитическое выражение суперпозиционного закона распределения вероятностей отказов трансформатора типа ВТ-5 выглядит следующим образом

$$g(t) = f_1(t) \cdot p_2(t) \cdot p_3(t) \cdot p_4(t) + f_2(t) \cdot p_1(t) \cdot p_3(t) \cdot p_4(t) + f_3(t) \cdot p_1(t) \cdot p_2(t) \cdot p_4(t) + f_4(t) \cdot p_1(t) \cdot p_2(t) \cdot p_3(t), \quad (1)$$

где  $f_1(t), f_2(t), f_3(t), f_4(t)$  — плотности распределения вероятностей появления отказов соответственно подшипникового, контактного, обмоточного и конструктивно-механического узлов;

$p_1(t), p_2(t), p_3(t), p_4(t)$  — вероятности безотказной работы соответственно подшипникового, контактного, обмоточного и конструктивно-механического узлов.

По результатам испытаний очевидно, что слабейшими узлами трансформатора типа ВТ-5 являются подшипниковый и контактный. Следовательно, в создании суперпозиционного закона распределения вероятностей отказов трансформатора типа ВТ-5 участвуют лишь законы отказов таких узлов, диапазоны которых хотя бы в какой-то части пересекают диапазон слабейшего узла. В данном случае диапазоны закона распределения вероятностей отказов обмоточного и конструктивно-механического узлов находятся значительно правее (дальше) границы окончания закона отказов подшипникового узла и не влияют на формирование суперпозиционного закона. Поэтому значения вероятности безотказной работы для обмоточного и механического узлов в формуле (1) равны единице и их можно опустить. А два последних члена суммы в формуле (1) равны нулю, так как вероятность безотказной работы

подшипникового узла для начальных (меньших) значений закона распределения вероятностей обмоточного и механических узлов будет равна нулю (изделие уже отказало).

Следовательно, формула суперпозиционного закона (1) для статистического распределения принимает вид

$$g^*(t) = f_1^*(t) \cdot p_2^*(t) + f_2^*(t) \cdot p_1^*(t), \quad (2)$$

а для теоретического распределения

$$g(t) = f_1(t) \cdot p_2(t) + f_2(t) \cdot p_1(t). \quad (3)$$

Исходя из изложенного, для определения статистического закона формулу (2) в явном виде можно представить следующим образом:

– для первого разряда гистограммы

$$g_1^*(t) = 0,15 \cdot 1,0 = 0,15;$$

– для второго разряда гистограммы

$$g_2^*(t) = 0,2 \cdot 1,0 = 0,2;$$

– для третьего разряда гистограммы

$$g_3^*(t) = 0,15 \cdot 0,9625 + 0,075(1 - 0,035 - 0,075) = 0,1875 \text{ и т. д.}$$

На этом основании графически построены статистический и теоретический суперпозиционные законы (рис. 3).

Для полученных законов определены их параметры: математическое ожидание  $M$ , среднее квадратическое отклонение  $\sigma$  и диапазон  $d$ .

Особенностью полученного суперпозиционного закона является то, что левая его часть повторяет левую ветвь слабейшего узла (первые два разряда гистограммы одинаковые), а правая часть суперпозиционного закона более быстро приближается к оси времени, чем у закона слабейшего узла (см. рис. 3). Нормировка выполнена — площадь, занимаемая суперпозиционным законом, равна единице. Результаты согласования суперпозиционного закона распределения вероятностей со статистическим законом следующие:  $M = 44370$  ч,  $\sigma = 11935$  ч,  $d = 55880$  ч,  $\chi^2 = 2,36$ ,  $p = 0,82$ .

Количественные показатели надежности (см. рис. 3) определяют следующим образом:

– гамма-процентную наработку до отказа определяют либо по значению наработки до отказа соответствующего изделия (в нашем случае четвертого из 40 шт. в массиве данных испытаний), либо как соответствующую часть протяженности разряда гистограммы  $h$  — в данном случае  $(4/6)h$ ;

– вероятность безотказной работы  $p(t)$  вычисляют как сумму вероятностей всех разрядов гистограммы, которые лежат правее рассматриваемого разряда, вероятность которого принимается равной половине (временная координата по середине разряда).

На рис. 4 приведены статистические и теоретические законы распределения вероятностей отказов трансформатора типа ВТ-5, полученные

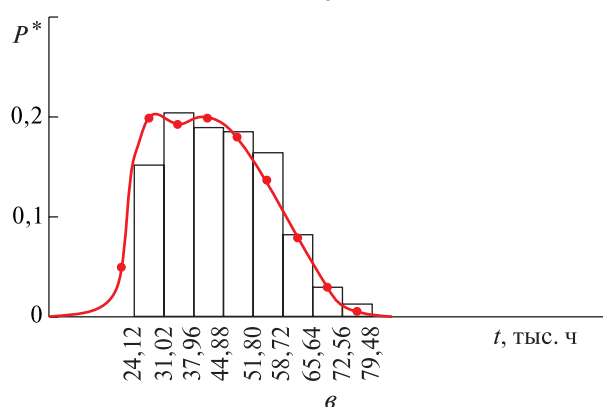
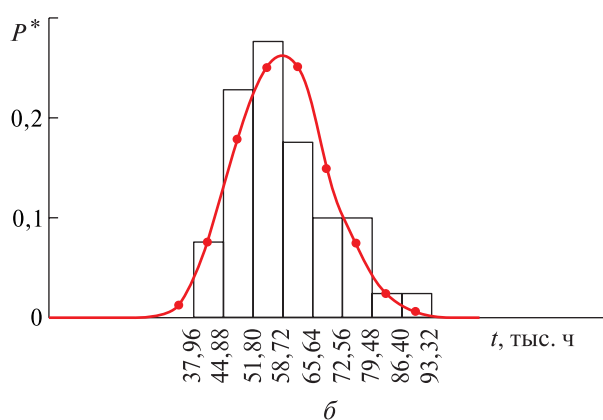
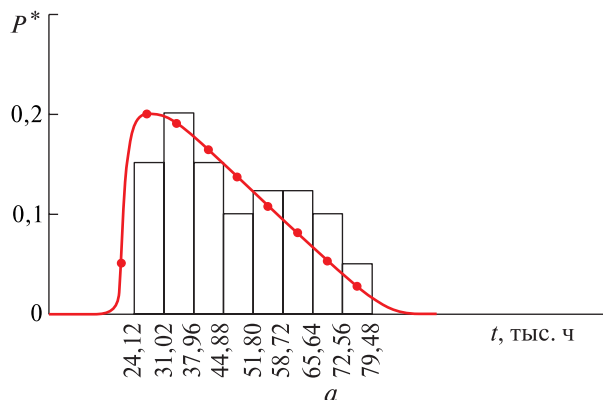


Рис. 3. Законы распределения вероятностей отказов подшипникового (а), контактного (б) узлов и трансформатора типа ВТ-5 (в)

Fig. 3. Failures probability distribution law of bearing (a), contact (b) units and transformer type BT-5 (c)

по результатам испытаний установочной партии и расчетным методом.

Результаты согласования статистических и теоретических законов, показанных на рис. 4 следующие: вариант а — статистический закон согласован с композиционным законом вида нормальный с линейно-убывающим; параметры согласования:  $M = 46865$  ч,  $\sigma = 15175$  ч,  $d = 55880$  ч,  $\chi^2 = 5,02$ ,  $p = 0,54$ ; вариант согласования (б) — статистический закон с суперпозиционным законом:  $M = 44370$  ч,  $\sigma = 11935$  ч,  $d = 55880$  ч,  $\chi^2 = 2,36$ ,  $p = 0,82$ .



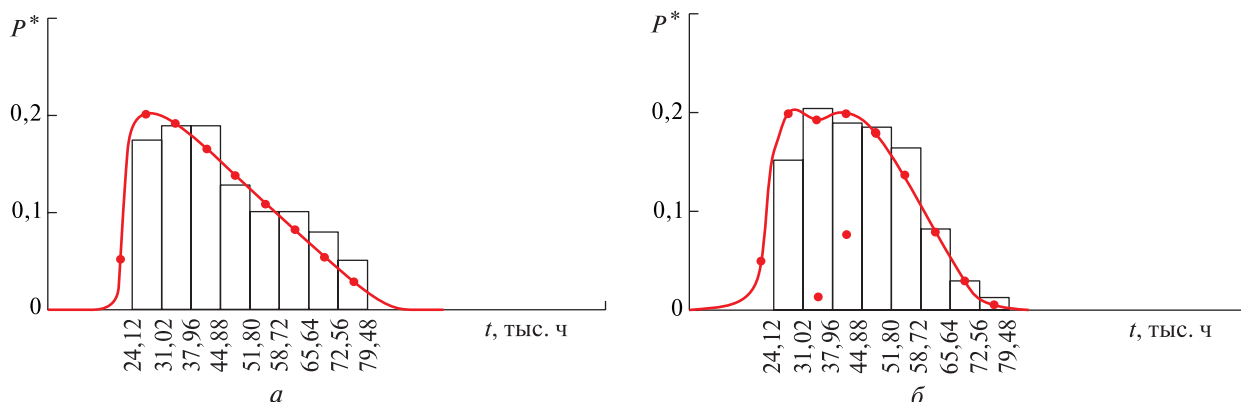


Рис. 4. Статистические и теоретические законы распределения вероятностей отказов трансформатора типа ВТ-5, полученные по результатам испытаний установочной партии (а) и расчетным методом (б)

Fig. 4. Statistical and theoretical failures probability distribution law of the BT-5 type transformer, obtained from the test results of the pilot batch (a) and the calculation method (b)

**Количественные показатели надежности трансформатора типа ВТ-5, полученные различными методами из разных источников**

Quantitative indicators of the BT-5 transformer reliability, obtained by various methods from different sources

Источник значений показателей надежности	Значения показателей надежности					
	$t_{\gamma}^*$ , ч для $\gamma = 90\%$	$t_{\gamma}$ , ч для $\gamma = 90\%$	$\lambda^*(t_{\gamma})$ , 1/ч	$\lambda(t_{\gamma})$ , 1/ч	$t_{ср}^*$ , ч для $\gamma = 50\%$	$t_{ср}$ , ч для $\gamma = 50\%$
1. ГОСТ РВ 20.57.414	—	—	—	$3,84 \cdot 10^{-6}$	—	—
2. Справочник по расчету... [18]	27470	25441	$2,53 \cdot 10^{-5}$	$4,91 \cdot 10^{-5}$	46865	42667
3. Предлагаемый метод	28730	26560	$2,2 \cdot 10^{-5}$	$4,29 \cdot 10^{-5}$	44335	44715
Расхождение результатов п. п. 2 и 3, %	4,6	4,4	15,0	14,5	5,7	4,8

*Примечание.*  $t_{\gamma}$ ,  $\lambda(t_{\gamma})$ ,  $t_{ср}$  — значения указанных показателей надежности получены по теоретическим формулам суперпозиционного закона, а те же показатели надежности (обозначены звездочкой) — на основе статистического закона (гистограммы).

Как видно из рис. 4, суперпозиционный закон несколько отличается от закона распределения вероятностей, полученного в результате испытаний. Это отличие обусловлено тем, что процессы старения и износа подшипникового и контактного узлов в чистом виде и в составе изделия несколько отличаются по температуре, составу паров внутри машины и вне ее, не учитывается взаимное влияние узлов изделия и пр.

По статистическим и теоретическим законам (см. рис. 4), определены показатели надежности трансформатора типа ВТ-5. При этом в случае статистических законов значения показателей определены по формулам, указанным в справочнике [18], а для теоретических законов в соответствии с зависимостями, указанными в работе [16].

Полученные значения показателей надежности трансформатора типа ВТ-5 представлены в таблице. Кроме того, в таблице приведены значения показателей надежности, полученные по результатам испытаний [16], а также из справочника «Надежность ЭРИ» [19].

Из таблицы видно, что значение оценки математического ожидания, по данным испытаний, несколько выше, чем расчетные по методике,

что обусловлено более быстрым спадом правой ветви суперпозиционного закона распределения вероятностей. В итоге диапазон расхождения значений показателей надежности составил от 4,4 % до 16 %.

Однако акцентируя внимание на результатах определения интенсивности отказов  $\lambda(t)$ , определенной по теоретической формуле и по формуле, приведенной в стандарте ГОСТ РВ 20.57.414, можно заметить, что значения различаются более чем в 10 раз.

Такое различие значений интенсивности отказов объясняется нарушением правил использования формулы статистического определения  $\lambda^*(t)$ . В частности, в справочнике [18] приведено статистическое определение для расчета значения  $\lambda^*(t)$

$$\lambda^*(t) = \frac{N(t) - N(t + \Delta t)}{N(t)\Delta t} = \frac{n}{N(t)\Delta t}, \quad (4)$$

где  $N(t)$  — число изделий, исправных за промежуток времени  $t$ ;

$n$  — число отказавших изделий за промежуток времени от  $t$  до  $(t + \Delta t)$ ;

$\Delta t$  — рассматриваемый промежуток времени.

При этом указывается, что на практике  $\Delta t$  должно быть достаточно мало, а  $n$  — достаточно велико. И хотя сочетание слов «достаточно мало» не имеет четкой границы, совершенно ясно, что  $\Delta t$  никак несравнимо с  $t_\gamma$ , а должно быть существенно меньше.

Можно предложить два выхода из создавшегося положения. Во-первых, если выборка изделий, на которых проводятся испытания, достаточна для построения статистического закона распределения вероятностей (гистограммы), то в качестве  $\Delta t$  можно принять протяженность разряда гистограммы ( $h$ ) или его часть, если в разряде гистограммы окажется больше отказавших изделий, чем значение

$$\left(1 - \frac{\gamma}{100}\right)N.$$

Об использовании гистограммы идет речь и в работе [20]. Во-вторых, в формулу

$$\lambda^*(t) = \frac{-\ln\left(\frac{\gamma}{100}\right)}{t_\gamma}$$

можно ввести коэффициент  $K$ , равный (0,1...0,15).

Тогда формулу можно записать в следующем виде

$$\lambda^*(t) = K \frac{-\ln\left(\frac{\gamma}{100}\right)}{t_\gamma}. \quad (5)$$

Расхождение значений  $\lambda(t)$  и  $\lambda^*(t)$  в обоих случаях будет существенно меньше.

## Выводы

Разработанный метод расчета показателей надежности электротехнических изделий пригоден к использованию и с удовлетворительной точностью дает оценку надежности рассматриваемых изделий.

Применение данного метода возможно и при прогнозировании показателей надежности разрабатываемых изделий при наличии информации о надежности их узлов, составляющих элементов и комплекующих элементов.

## Список литературы

- [1] Жаднов В.В., Жаднов И.В., Полесский С.Н. Современные проблемы автоматизации расчетов надежности // Надежность, 2007. № 2. С. 3–12.
- [2] Борисов А.А., Исаев В.М. О некоторых подходах к оценке надежности сложной электронной компонентной базы нового поколения // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2009. № 3. С. 130–134.
- [3] Батуринов А.В. Определение показателей надежности электронной компонентной базы // Петербургский журнал электроники, 2010. № 2 (63). С. 70–74.
- [4] Батуринов А.В. Стратегия оценки показателей надежности иностранной ЭКБ // Петербургский журнал электроники, 2011. № 3–4. С. 65–70.
- [5] Жаднов В.В. Сравнительный анализ технологий обеспечения надежности электронных средств // Инновационные информационные технологии, 2012. № 1. С. 413–418.
- [6] Жаднов В.В. Расчетная оценка показателей долговечности электронных средств космических аппаратов и систем // Надежность и качество сложных систем, 2013. № 2. С. 65–73.
- [7] Кулибаба А.Я., Прищепова С.П., Штукарев А.Ю. Проблемы ускоренных испытаний электронной компонентной базы на надежность // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы, 2014. Т. 1. № 2. С. 81–85.
- [8] Матюшев Р.А., Максимов Ю.В., Патраев В.Е. Обеспечение надежности бортовой аппаратуры космических аппаратов длительного функционирования по критериям качества электронной компонентной базы. Научные технологии, 2015. Т. 16. № 3. С. 27–30.
- [9] Жаднов В.В. Расчет надежности электронных модулей. М.: Солон-Пресс, 2016. 232 с.
- [10] Архипова И.В., Батуринов А.В., Левин Р.Г., Митюшов А.И. Апробация методики оценки показателей надежности электронной компонентной базы для систем управления по результатам испытаний малых выборок ПЛИС фирмы Altera // Вопросы радиоэлектроники, 2017. № 7. С. 83–88.
- [11] Архипова И.В. Оценка показателей надежности электронной компонентной базы иностранного производства по результатам испытаний малых выборок // Вопросы радиоэлектроники, 2018. № 7. С. 59–64.
- [12] Жаднов В.В., Кулыгин В.Н. Применение метода статистического моделирования для автоматизации прогнозирования долговечности при проектировании электронных средств // Вестник компьютерных и информационных технологий, 2018. № 11. С. 28–36.
- [13] Архипова И.В. Оценка надежности электронной компонентной базы с помощью методов статистического прогнозирования // Вопросы радиоэлектроники, 2019. № 6. С. 104–109.
- [14] Половко А.М., Гуров С.В. Основы теории надежности. СПб: БХВ-Петербург, 2006. 702 с.
- [15] MIL-HDBK-217F. Military Handbook. Reliability prediction of electronic equipment. Washington: Department of Defense, 1991, 150 p.
- [16] Исследование и разработка методов высокоточной расчетной оценки надежности функционально сложных комплексированных электротехнических изделий: отчет о НИР, шифр «Панорама-3», 2013.
- [17] Конесев С.Г., Хазиева Р.Т. Методы оценки показателей надежности сложных компонентов и систем // Современные проблемы науки и образования, 2015. № 1 (ч. 1) URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=17558> (дата обращения 25.03.2021).
- [18] Козлов Б.А., Ушаков И.А. Справочник по расчету надежности аппаратуры радиоэлектроники и автоматики. М.: Советское радио, 1975. 471 с.
- [19] Надежность электрорадиоизделий Справочник нормативного характера. М.: 22 ЦНИИ МО РФ, 2004. 620 с.
- [20] Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы в теории надежности. М.: Наука, 1965. 524 с.

## Сведения об авторах

**Алексеев Валерий Васильевич** — канд. техн. наук, ст. науч. сотр. ФГБУ «46 ЦНИИ» Минобороны России, hit-el@mail.ru

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

**Болдырев Максим Александрович** — начальник отдела ФГБУ «46 ЦНИИ» Минобороны России, hit-el@mail.ru

**Воронцов Павел Сергеевич** — начальник лаборатории ФГБУ «46 ЦНИИ» Минобороны России, hit-el@mail.ru

**Князев Роман Игоревич** — зам. начальника отдела ФГБУ «46 ЦНИИ» Минобороны России, hit-el@mail.ru

**Котов Юрий Терентьевич** — д-р техн. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), kotov46@inbox.ru

Поступила в редакцию 17.04.2021.

Принята к публикации 20.05.2021.

## COMPOSITION AND SUPERPOSITION FAILURES PROBABILITY DISTRIBUTION LAWS FOR ASSESSING MILITARY ELECTRICAL PRODUCTS RELIABILITY

V.V. Alekseev<sup>1</sup>, Yu.P. Batyrev<sup>2</sup>, M.A. Boldyrev<sup>1</sup>,  
P.S. Vorontsov<sup>1</sup>, R.I. Knyazev<sup>1</sup>, T.Yu. Kotov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>46 the Central Research Institute of the Ministry of Defense of Russia, 10, Chukotsky proezd, 129327, Moscow, Russia

<sup>2</sup>BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

kotov46@inbox.ru

An implementation of the developed computational structural method for assessing the reliability of complex electrical products. The basis of this method is the use of combinations of composition and superposition laws of distribution of probabilities of failures. The estimation of reliability of a rotating transformer type BT-5. The calculated reliability indices are compared with results of standard test BT-5 for reliability. Received high convergence of the results.

**Keywords:** electro-technical products, product reliability, reliability indices, a block diagram of reliability, a constituent element of the product, the probability distribution of failures, the superposition law, the composition law

**Suggested citation:** Alekseev V.V., Batyrev Yu.P., Boldyrev M.A., Vorontsov P.S., Knyazev R.I., Kotov T.Yu. *Ispol'zovanie svoystv kompozitsii i superpozitsii zakonov raspredeleniya veroyatnostey otказov pri otsenke nadezhnosti elektrotekhnicheskikh izdeliy voennogo naznacheniya* [Composition and superposition failures probability distribution laws for assessing military electrical products reliability] // *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 5, pp. 131–137. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-5-131-137

## References

- [1] Zhadnov V.V., Zhadnov I.V., Poleskiy S.N. *Sovremennyye problemy avtomatizatsii raschetov nadezhnosti* [Modern problems of automation of reliability calculations]. *Nadezhnost'*, 2007, no. 2, pp. 3–12.
- [2] Borisov A.A., Isaev V.M. *O nekotorykh podkhodakh k otsenke nadezhnosti slozhnoy elektronnoy komponentnoy bazy novogo pokoleniya* [On some approaches to assessing the reliability of a complex electronic component base of a new generation]. *Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik*, 2009, no. 3, pp. 130–134.
- [3] Baturin A.V. *Opredelenie pokazateley nadezhnosti elektronnoy komponentnoy bazy* [Determination of reliability indicators of the electronic component base]. *Peterburgskiy zhurnal elektroniki*, 2010, no. 2 (63), pp. 70–74.
- [4] Baturin A.V. *Strategiya otsenki pokazateley nadezhnosti inostrannoy EKB* [Strategy for assessing the reliability of foreign electronic components]. *Peterburgskiy zhurnal elektroniki*, 2011, no. 3–4, pp. 65–70.
- [5] Zhadnov V.V. *Sravnitel'nyy analiz tekhnologiy obespecheniya nadezhnosti elektronnykh sredstv* [Comparative analysis of technologies for ensuring the reliability of electronic means]. *Innovacionnyye informacionnyye tekhnologii*, 2012, no. 1, pp. 413–418.
- [6] Zhadnov V.V. *Raschetnaya otsenka pokazateley dolgovechnosti elektronnykh sredstv kosmicheskikh apparatov i sistem* [Calculated evaluation of the durability indicators of electronic means of spacecraft and systems]. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh sistem*, 2013, no. 2, pp. 65–73.



- [7] Kulibaba A.Ya., Prishchepova S.P., Shtukarev A.Yu. *Problemy uskorenykh ispytaniy elektronnoy komponentnoy bazy na nadezhnost'* [Problems of accelerated testing of the electronic component base for reliability]. *Raketno-kosmicheskoe priborostroenie i informacionnye sistemy*, 2014, t. 1, no. 2, pp. 81–85.
- [8] Matyushev R.A., Maksimov Yu.V., Patraev V.E. *Obespechenie nadezhnosti bortovoy apparatury kosmicheskikh apparatov dlitel'nogo funkcionirovaniya po kriteriyam kachestva elektronnoy komponentnoy bazy* [Ensuring the reliability of the onboard equipment of long-term operation spacecraft according to the quality criteria of the electronic component base]. *Naukoemkie tehnologii*, 2015, t. 16, no. 3, pp. 27–30.
- [9] Zhadnov V.V. *Raschet nadezhnosti elektronnykh moduley* [Calculation of the reliability of electronic modules]. Moscow: Solon-Press, 2016, 232 p.
- [10] Arkhipova I.V., Baturin A.V., Levin R.G., Mityushov A.I. *Aprobatsiya metodiki otsenki pokazateley nadezhnosti elektronnoy komponentnoy bazy dlya sistem upravleniya po rezul'tatam ispytaniy malykh vyborok PLIS firmy Altera* [Approbation of the methodology for assessing the reliability of the electronic component base for control systems based on the results of tests of small samples of Altera FPGAs]. *Voprosy radioelektroniki*, 2017, no. 7, pp. 83–88.
- [11] Arkhipova I.V. *Otsenka pokazateley nadezhnosti elektronnoy komponentnoy bazy inostrannogo proizvodstva po rezul'tatam ispytaniy malykh vyborok* [Evaluation of the reliability indicators of the electronic component base of foreign production based on the results of tests of small samples]. *Voprosy radioelektroniki*, 2018, no. 7, pp. 59–64.
- [12] Zhadnov V.V., Kulygin V.N. *Primenenie metoda statisticheskogo modelirovaniya dlya avtomatizatsii prognozirovaniya dolgovechnosti pri proektirovaniy elektronnykh sredstv* [Application of the statistical modeling method for automating the durability prediction in the design of electronic devices]. *Vestnik komp'yuternykh i informatsionnykh tekhnologiy*, 2018, no. 11, pp. 28–36.
- [13] Arkhipova I.V. *Otsenka nadezhnosti elektronnoy komponentnoy bazy s pomoshch'yu metodov statisticheskogo prognozirovaniya* [Evaluation of the reliability of the electronic component base using statistical forecasting methods]. *Voprosy radioelektroniki*, 2019, no. 6, pp. 104–109.
- [14] Polovko A.M., Gurov S.V. *Osnovy teorii nadezhnosti* [Fundamentals of reliability theory]. St. Petersburg: BHV-Peterburg, 2006, 702 p.
- [15] MIL-HDBK-217F. *Military Handbook. Reliability prediction of electronic equipment*. Washington: Department of Defense, 1991, 150 p.
- [16] *Issledovaniya i razrabotka metodov vysokotochnoy raschetnoy otsenki nadezhnosti funktsional'no slozhnykh kompleksirovannykh elektrotekhnicheskikh izdeliy* [Research and development of methods for high-precision computational evaluation of the reliability of functionally complex integrated electrical products], shifr «Panorama-3», 2013.
- [17] Konesev S.G., Khazieva R.T. *Metody otsenki pokazateley nadezhnosti slozhnykh komponentov i sistem* [Methods for assessing the reliability indicators of complex components and systems]. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education], 2015, no. 1 (p. 1). Available at: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=17558> (accessed 25.03.2021).
- [18] Kozlov B.A., Ushakov I.A. *Spravochnik po raschetu nadezhnosti apparatury radioelektroniki i avtomatiki* [Handbook for calculating the reliability of radio electronics and automation equipment]. Moscow: Sovetskoe radio, 1975, 471 p.
- [19] *Nadezhnost' elektroradioizdeliy Spravochnik normativnogo kharaktera* [Reliability of electrical and radio components]. Spravochnik. Moscow: 22 TsNIII MO RF, 2004, 620 p.
- [20] Gnedenko B.V., Belyaev Yu.K., Solov'ev A.D. *Matematicheskie metody v teorii nadezhnosti* [Mathematical methods in the theory of reliability]. Moscow: Nauka, 1965, 524 p.

## Authors' information

**Alekseev Valery Vasilievich** — Cand. Sci. (Tech.), Senior Researcher, branch FGBU «46CNII» Ministry of Defence, hit-el@mail.ru

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

**Boldyrev Maksim Aleksandrovich**, — Senior scientific employee of branch FGBU «46CNII» Ministry of Defence of Russia, hit-el@ya.ru

**Vorontsov Pavel Sergeevich**, — Scientific employee of branch FGBU «46CNII» Ministry of Defence of Russia, hit-el@ya.ru

**Knyazev Roman Igorevich** — Cand. Sci. (Tech.), Senior Researcher, branch FGBU «46CNII» Ministry of Defence, hit-el@mail.ru

**Kotov Yuriy Terentievich** — Dr. Sci. (Tech.) Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), kotov46@inbox.ru

Received 17.04.2021.

Accepted for publication 20.05.2021.



## **ВСЕРОССИЙСКАЯ АКЦИЯ «СОХРАНИМ ЛЕС»: В СТРАНЕ ВЫСАЖЕНО УЖЕ БОЛЕЕ 25 МИЛЛИОНОВ ДЕРЕВЬЕВ**

Более 25 миллионов деревьев высажены добровольцами по всей стране в рамках всероссийской акции «Сохраним лес». Это более трети от запланированного на год объема высадок.

29 сентября высадки начались в Ульяновской области. Центральное мероприятие прошло в Николаевском лесничестве, где добровольцами высажено 880 саженцев сосны. Акция пройдет во всех 19 лесничествах региона и в этом году в плане высадить в регионе порядка ста тысяч саженцев и сеянцев сосны.

1 октября кампания пройдет в Тамбовской области. По предварительным данным, для участия в высадках зарегистрировались порядка 200 человек. Ожидается, что будет высажено 3,5 тысячи сеянцев сосны. Мероприятие пройдет в Пригородном участковом лесничестве. В общей же сложности до конца года в регионе планируется высадить более 7 млн сеянцев и саженцев сосны и дуба.

Несколько дней назад в Башкирии на территории санатория «Зеленая роща» стартовала Всероссийская акция «Сохраним лес». Руководители федеральных и республиканских органов власти, и студенты Уфимского лесотехнического техникума совместно с отдыхающими санатория высадили Аллею лесоводов России из 100 лип. Саженцы для высадки привезены из Стерлитамакского лесхоза. Всего в рамках осенней лесовосстановительной кампании, с учетом акции, в регионе запланирована высадка более 2 млн новых деревьев.

Масштабная лесовосстановительная акция прошла в пострадавшей от лесных пожаров Амурской области. Примерно 27 млн га площади региона занимают леса со средним и высоким классами пожарной опасности. Инициативу по сохранению зеленого фонда поддержали около 200 жителей Благовещенска. Специально для акции были выращены более 600 саженцев березы, клена и краснотала – неприхотливых пород, способных успешно приживаться в амурском климате. Всего в Амурской области в этом году планируют высадить 4 тысячи деревьев.

6 тысяч молодых сосен появилось на днях в лесничестве Чунского района Иркутской области. Место для лесопосадки выбрали вблизи деревни Мироново: участок пустовал из-за самовольных рубок и лесных пожаров прошлых лет. Годовалые саженцы сосны выращены экспериментальным методом – в теплице. У них открытая и крепкая корневая система, что дает высокие шансы на приживаемость. В местном климате именно сентябрь – лучшее время для высадки, несмотря на влажность и холод.

Экологическая акция «Сохраним лес» прошла и в ямальской деревне Харампур. Здесь главным образом, она была посвящена профилактике лесных пожаров. В лесном массиве, что рядом с деревней, много ягеля, сухостоя, которые представляют собой легко воспламеняющийся материал. Поэтому важно вовремя очистить лес от этого мусора. Добровольцы собрали сухие ветки и палки в пакеты и вывезли на полигон.

В Санкт-Петербурге в одном из скверов Сестрорецка в рамках акции недавно появились 20 сосен. Участники высадок использовали специальный «углеродный калькулятор» на сайте сохранимлес.рф и узнали примерные объемы углерода, которые они помогут нейтрализовать.

Накануне к акции присоединилась и Брянская область. На территории учебно-опытного лесничества в поселке Снежжа появились 150 саженцев ели, клена и рябины. За время акции «Сохраним лес» в регионе высадят более 350 тысяч саженцев и сеянцев этих пород деревьев.

Всего во всероссийской акции «Сохраним лес» на сегодняшний день приняли участие более 60 регионов. Среди них Алтайский, Красноярский, Забайкальский края, Белгородская, Тульская, Сахалинская, Мурманская, Московская области, республики Бурятия, Якутия и другие. «Сохраним лес» реализуется в рамках национального проекта «Экология». Организаторами выступают Министерство природных ресурсов и экологии РФ, Федеральное агентство лесного хозяйства, а также АНО «Национальные приоритеты» и АНО «Сад памяти».