

# ЛЕСНОЙ ВЕСТНИК / FORESTRY BULLETIN

Научно-информационный журнал

№ 4 ' 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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**Мартынюк Александр Александрович**, 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 08.07.2021.

Тираж 600 экз.

Заказ №

Объем 16,0 п. л.

Цена свободная

# LESNOY VESTNIK / FORESTRY BULLETIN

Scientific Information Journal  
№ 4 ' 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 TSNIIAMASH, 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 08.07.2021.  
Circulation 600 copies  
Order №  
Volume 16,0 p. p.  
Price free

# СОДЕРЖАНИЕ

## БИОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА

**Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П., Горелов А.Н.**

Рост клонов плюсовых деревьев сосны обыкновенной, отобранных в Нижегородской области по смолопродуктивности ..... 5

**Клевцов Д.Н., Тюкавина О.Н., Сунгурова Н.Р.**

Сравнительный анализ биоэнергетической продуктивности культурфитоценозов сосны обыкновенной европейского севера ..... 15

**Смирнов А.И., Орлов Ф.С., Аксенов П.А.**

Влияние низкочастотного электромагнитного поля на лабораторную всхожесть семян и выход сеянцев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) ..... 21

**Коротков С.А., Дробышев Ю.И.**

Динамика насаждений с участием ели в защитных лесах Подмосковья ..... 27

**Бухарина И.Л., Пашкова А.С., Удалов Д.Н.,**

**Старков М.Н., Светлакова О.А., Белоусова О.А.**

Состояние еловых насаждений в районе южнотаежных лесов таежной зоны в Удмуртской Республике ..... 34

**Кулаков Е.Е., Воробьева Е.А., Сиволапов В.А., Карпеченко Н.А.**

Оценка полиморфизма дуба черешчатого (*Quercus robur*) с помощью SSR-анализа ..... 44

**Потапов Д.И., Горепекин И.В., Федотов Г.Н.,**

**Шалаев В.С., Батырев Ю.П.**

Выбор условий для изучения влияния внутриагрегатных связей на водопрочность почвенных агрегатов ..... 52

**Бердникова Л.Н.**

Работа с населением по предупреждению пожаров в лесу ..... 59

## ЛАНДШАФТНАЯ АРХИТЕКТУРА

**Довганюк А.И.**

Формирование предметно-пространственной среды детских игровых площадок в г. Москве ..... 69

**Гусев А.В., Баранова Е.К., Васильева О.Г., Мамаева Н.А.**

Вариабельность некоторых фенотипических признаков сортов пиона травянистого (*Paeonia* L.) с японской формой цветка в составе коллекционного фонда Главного ботанического сада РАН ..... 77

## ДЕРЕВООБРАБОТКА И ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

**Скурыдин Ю.Г., Скурыдина Е.М.**

Структурные особенности композиционных материалов из гидролизованной древесины березы ..... 89

**Сафина А.В., Абдуллина Д.Р., Сафин Р.Г.,**

**Арсланова Г.Р., Валеев К.В.**

Энерго- и ресурсосберегающая технология экстрагирования бетулина из отходов бересты березы ..... 99

**Деянов Д.И., Моисеев С.А., Курышов Г.Н., Косарин А.А.**

Импульсная сушка пиломатериалов из древесины груши в конвективных сушильных камерах ..... 107

## ЛЕСОИНЖЕНЕРНОЕ ДЕЛО

**Мохирев А.П., Рукомойников К.П., Мазуркин П.М.**

Закономерности ранговых распределений факторов вывозки древесины с лесных участков ..... 112

**Сиротов А.В., Лапин А.С., Тесовский А.Ю.,**

**Карчин Ф.А., Усачев М.С.**

Супервизорное управление исполнительными механизмами машин лесозаготовок и лесного хозяйства ..... 121

# CONTENTS

## BIOLOGICAL AND TECHNOLOGICAL ASPECTS OF FORESTRY

<b>Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Gorelov A.N.</b> Growth of Scots pine plus trees clones, selected by resin productivity in Nizhny Novgorod region .....	5
<b>Klevtsov D.N., Tyukavina O.N., Sungurova N.R.</b> Comparative analysis of Scots pine homogeneous stands bioenergetic productivity in European North .....	15
<b>Smirnov A.I., Orlov F.S., Aksenov P.A.</b> Effect of low-frequency electromagnetic field on laboratory seed germination and seedling yield of Scots pine ( <i>Pinus sylvestris</i> L.) .....	21
<b>Korotkov S.A., Drobyshev Yu.I.</b> Dynamics of protective spruce stands in Moscow region .....	27
<b>Bukharina I.L., Pashkova A.S., Udalov D.N., Starkov M.N., Svetlakov O.A., Belousova O.A.</b> State of spruce stands in Southern Taiga forests in Udmurt Republic Taiga Zone .....	34
<b>Kulakov E.E., Vorobyeva E.A., Sivolapov V.A., Karpechenko N.A.</b> Petiolate Oak ( <i>Quercus robur</i> ) polymorphism evaluation by SSR-analyzing .....	44
<b>Potapov D.I., Gorepekin I.V., Fedotov G.N., Shalaev V.S., Batyrev Yu.P.</b> Selection of conditions for studying intraaggregate connections influence on water stability of soil aggregates .....	52
<b>Berdnikova L.N.</b> Work with citizens on preventing forest fires .....	59

## LANDSCAPE ARCHITECTURE

<b>Dovganyuk A.I.</b> Subject-spatial environment of children's playgrounds formation in Moscow .....	69
<b>Gusev A.V., Baranova E.K., Vasil'yeva O.G., Mamaeva N.A.</b> Phenotypic traits variability of Grassy peony ( <i>Paeonia</i> L.) with japanese flower shape as part of ornamental plants collection laboratory of MBG RAS .....	77

## WOODWORKING AND CHEMICAL WOOD PROCESSING

<b>Skurydin Yu.G., Skurydina E.M.</b> Structural features of composite materials made of hydrolyzed birch wood .....	89
<b>Safina A.V., Abdullina D.R., Safin R.G., Arslanova G.R., Valeev K.V.</b> Energy-saving technology for betulin extraction from birch bark waste .....	99
<b>Deyanov D.I., Moiseev S.A., Kuryshov G.N. Kosarin A.A.</b> Convective hot-air chambers impulse drying of pear wood lumbers .....	107

## FOREST ENGINEERING

<b>Mokhirev A.P., Rukomajnikov K.P., Mazurkin P.M.</b> Rank distribution of wood removal from forest land .....	112
<b>Siroto A.V., Lapin A.S., Tesovskiy A.Yu., Karchin F.A., Usachev M.S.</b> Supervisory controlled forest machines .....	121

## РОСТ КЛОНОВ ПЛЮСОВЫХ ДЕРЕВЬЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ, ОТОБРАННЫХ В НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ ПО СМОЛОПРОДУКТИВНОСТИ

Н.Н. Бессчетнова, В.П. Бессчетнов, А.Н. Горелов

Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия, 603107, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, д. 97

lesfak@bk.ru

Исследованы таксационные показатели клонов плюсовых деревьев сосны обыкновенной, отобранных по смолопродуктивности, в сравнении с аналогичными характеристиками растений, отобранных по линейным параметрам ствола. Клоны представлены в составе лесосеменной плантации № 10 в Семеновском лесничестве Нижегородской обл., созданной в 1984 г. на участке с типом лесорастительных условий В<sub>2</sub>, и типом леса — сосняк майниково-брусничный. Обеспечено соблюдение принципа единственного логического различия, а также базовых требований к постановке опыта. Методика предусматривала использование величины угла крепления боковых ветвей первого порядка к стволу в качестве тест-маркера при проверке чистоты клонового состава плантации. Учтены таксационные показатели (высота и диаметр ствола) у 571 дерева при сплошном перечете. Установлен неодинаковый характер распределения средних значений анализируемых показателей у сравниваемых между собой вегетативных потомств плюсовых деревьев. Наибольшая высота ( $16,70 \pm 0,43$  м), отмечена у клонов плюсового дерева К-011, выделенного по смолопродуктивности, которая на 2,65 м или в 1,19 раз превосходит ее наименьшее значение ( $14,05 \pm 0,44$  м), присущее клонам плюсового дерева К-113, отобранного по тем же критериям, и на 2,02 м, или в 1,14 раза, превосходит ее наименьшее значение ( $14,23 \pm 0,31$  м), присущее клонам плюсового дерева К-171, отобранного по таксационным показателям ствола. Показано соответствие выявленных различий в таксационных показателях клонов уровню существенных, как в группе выделенных по смолопродуктивности плюсовых деревьев, а так и в группе выделенных по характеристикам стволов, что указывает на специфику их генотипов. Определена степень сходства плюсовых деревьев по параметрам стволов, что свидетельствует о различном уровне индивидуальной неидентичности каждого из плюсовых деревьев относительно остальных в их рассматриваемой совокупности.

**Ключевые слова:** сосна обыкновенная, смолопродуктивность, плюсовые деревья, параметры ствола, существенность различий, коэффициент наследуемости

**Ссылка для цитирования:** Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П., Горелов А.Н. Рост клонов плюсовых деревьев сосны обыкновенной, отобранных в Нижегородской области по смолопродуктивности // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 4. С. 5–14. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-4-5-14

Задачи селекционного совершенствования лесов нашли отражение в государственной программе Российской Федерации «Развитие лесного хозяйства» на 2013–2020 годы и в Стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года. В первую очередь это относится к основным лесообразующим породам, в числе которых важнейшую роль играет сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) [1–5] Широта ареала и многообразие форм практического использования, включая подпочку, делают сосну объектом всестороннего изучения как у нас в стране [6–8], так и за рубежом [9–18]. На современном этапе важна всесторонняя оценка селекционного потенциала ее плюсовых деревьев [19–25], которая может проводиться по широкому комплексу критериев и признаков, имеющих хозяйственное, адаптационное и идентификационное значение [26–32]. Одним из них выступает выход живицы — незаменимого сырья для лесохимических предприятий, сосредоточенных в Нижегородской области. На ее территории специалистами Центрального научно-исследовательского и проектного института лесохимической промышлен-

ности в ходе селекционной инвентаризации насаждений были выделены плюсовые деревья, отличающиеся высокими значениями указанного показателя.

### Цель работы

Цель работы — оценка таксационных показателей клонов плюсовых деревьев сосны обыкновенной, отобранных по смолопродуктивности, в сопоставлении с параметрами плюсовых деревьев, которые были отобраны по линейным параметрам ствола.

### Материалы и методы

Объект исследования — плюсовые деревья сосны обыкновенной, отобранные на территории Нижегородской обл. по критериям повышенной смолопродуктивности и представленные своими клонами (прививками) на лесосеменной плантации № 10, которая была заложена в 1984 г. в Семеновском районном лесничестве Нижегородской обл. в (кв. № 121, выд. № 5) на площади 5,0 га с первоначальным числом посадочных мест 1042 шт., что при проектной схеме размещения посадочных

мест  $6 \times 8$  м дало плотность их посадки — 208 шт./га. Количество смолопродуктивных клоновых групп — 16. Помимо них в состав участка вошли одновременно высаженные прививки еще четырех плюсовых деревьев того же возраста, отобранных по параметрам их стволов (высоте, диаметру, техническим качествам). Сохранность указанного ассортимента при плановой аттестации в 1992 г. составила 100 %, сохранность клонов (рамет) от исходного количества — 93 %, а их санитарное состояние определено как хорошее. Территориально плантация входит в зону хвойно-широколиственных лесов хвойно-широколиственного лесного района Европейской части Российской Федерации (3-й лесорастительный район) с типичными для зоны почвами [33]. Тип лесорастительных условий В<sub>2</sub>, тип леса — сосняк майниково-брусничный. По лесосеменному районированию плантация отнесена ко второму лесосеменному району сосны обыкновенной.

Методологической платформой для работы служил принцип единственного логического различия, а также требования к типичности, пригодности, надежности и целесообразности опыта. Чистота состава клонов на плантации предварительно проверялась по величине угла крепления боковых ветвей первого порядка к стволу. Этот признак, согласно ранее полученным сведениям о его стабильности в пределах рамет одного ортега и больших различиях между клонами разных плюсовых деревьев, выступил тест-маркером [3, 34–36]. При натурной таксации выполнен сплошной пересчет 571 дерева. Высоту измеряли высотомером Suunto PM-5/360 PC с точностью шкалы 0,1 м, диаметр на высоте 1,3 м — мерной вилкой с точностью 1 см. Учитывали имеющийся опыт изучения лесосеменных плантаций, испытательных культур, архивов клонов плюсовых деревьев сосны обыкновенной, включая таксационные показатели при оценках селекционного дифференциала и общей комбинационной способности [37–40].

## Результаты и обсуждение

Установлено, что характер распределения средних значений анализируемых показателей у сравниваемых между собой вегетативных потомств плюсовых деревьев, как и соотношение между соответствующими значениями двух их групп, выделенных по фенотипическим проявлениям разных признаков, имеющих хозяйственное значение, неодинаков (рис. 1–3). Так, по высоте ствола неоднородность плюсовых деревьев фиксируется как в пределах каждой отдельной группы клонов, так в рассматриваемом их массиве в целом (см. рис. 1).

Наибольшее значение высоты ( $16,70 \pm 0,43$  м), отмеченное у клонов плюсового дерева К-011, выделенного из состава естественных насаждений по критериям повышенной смолопродуктивности, на 2,65 м, или в 1,19 раза, превышает ее наименьшее значение ( $14,05 \pm 0,44$  м), присущее клонам плюсового дерева К-113, отобранного по тем же критериям, и на 2,02 м, или в 1,14 раза, превышает ее наименьшее значение ( $14,23 \pm 0,31$  м), присущее клонам плюсового дерева К-171, отобранного по таксационным показателям ствола. Однако средняя высота в каждой из групп ( $15,17 \pm 0,06$  м и  $15,28 \pm 0,15$  м) и в обобщенном массиве данных ( $15,18 \pm 0,06$  м) оказалась практически одинаковой (см. рис. 1). Такое соотношение объясняется отчасти тем, что отбор лучших по смолопродуктивности особей был осуществлен из числа лидирующих по таксационным параметрам ствола деревьев.

Расхождения в оценках диаметра ствола плюсовых деревьев также наблюдались в пределах отдельных групп клонов и в их массиве в целом (см. рис. 2). В данном случае картина соотношения иная, и превышение наибольшего значения ( $36,93 \pm 0,72$  см), зафиксированного у клонов плюсового дерева К-017, отобранного по критериям повышенной смолопродуктивности, над наименьшим ( $29,08 \pm 0,40$  см), наблюдавшейся у клонов плюсового дерева К-167, отобранного по оценкам параметров ствола, составило 7,85 см, или в 1,27 раза.

По отношению к минимуму, отмеченному у клона К-001, таких оценок ( $32,66 \pm 0,40$  см) в группе плюсовых деревьев, которые выделены по смолопродуктивности, аналогичное превышение составило 4,85 см, или в 1,17 раза. В отличие от высоты ствола оценки среднего диаметра в каждой из сравниваемых групп ( $34,14 \pm 0,18$  см и  $31,71 \pm 0,39$  см) и в обобщенном массиве данных ( $33,92 \pm 0,17$  см) заметно различались. В группе отобранных по смолопродуктивности плюсовых деревьев диаметр ствола выше (см. рис. 2), что позволяет признать большую сбежистость их ствола.

Проведенный статистический анализ показателя напряженности роста ствола подтвердил выдвинутое предположение (см. рис. 3).

Различия между сравниваемыми группами растений по данному признаку прослеживаются отчетливо. Наибольшее значение ( $2,38 \pm 0,07$  м/см<sup>2</sup>) зафиксировано у клонов плюсового дерева К-167, отобранного по оценкам параметров ствола, и на  $0,89$  м/см<sup>2</sup>, или в 1,60 раза, превосходит соответствующий минимум ( $1,49 \pm 0,05$  м/см<sup>2</sup>), зафиксированный у клонов плюсового дерева К-017, отобранного по смолопродуктивности. Столь же уверенно различаются между собой и

обобщенные средние оценки данного показателя, которые составили  $1,97 \pm 0,04$  м/см<sup>2</sup> (отбор по параметрам ствола);  $1,71 \pm 0,02$  м/см<sup>2</sup> (отбор по смолопродуктивности);  $1,73 \pm 0,02$  м/см<sup>2</sup> (единое для двух групп значение).

Полученные результаты статистически достоверны, о чем свидетельствуют значения *t*-критерия Стьюдента, оказавшиеся заметно больше соответствующих табличных пределов на 5%-м уровне значимости. При этом величина относительной ошибки (точность опыта) не превысила заданный 5%-й порог. Поскольку вышеуказанные фенотипические различия параметров стволов ассортиментного состава клонов лесосеменной плантации № 10 проявились при совместном произрастании последних на выровненном фоне экологических условий основной причиной их возникновения можно признать специфику генотипов плюсовых деревьев.

Соответствие различий между вегетативными потомствами плюсовых деревьев заданным критериям их существенности установлено в ходе проведения однофакторного дисперсионного анализа (табл. 1). Полный ассортимент плюсовых деревьев, представленных своими клонами на лесосеменной плантации № 10, демонстрирует наличие существенных различий между ними. На это указывают расчетные критерии Фишера, заметно превысившие установленный предел как на 5%-м, так и на 1%-м уровне значимости по всем анализируемым признакам. Плюсовые деревья, отобранные по лучшим показателям смолопродуктивности, как отдельная группа также характеризовались существенными различиями своего состава. Их *F*-критерии, как и в первом случае, превысили соответствующие табличные значения на принятых в опыте уровнях значимости. Аналогичные заключения можно сделать в отношении участвующей в сравнительной оценке группы плюсовых деревьев, отобранных по таксационным показателям ствола (см. табл. 1).

Можно констатировать, что нулевая гипотеза об отсутствии различий между плюсовыми деревьями уверенно опровергнута. Тот же анализ, проведенный для оценки значимости различий между группами клонов плюсовых деревьев, отобранных по разным методикам и разным критериям селекционной ценности (смолопродуктивности и параметрам стволов), не подтвердил их существенность по высоте ствола (признак 1). Расчетный *F*-критерий по данному признаку оказался меньше допустимых табличных пределов на принятых нами уровнях значимости. Возможная причина этого факта объяснена выше (см. рис. 1). При этом по другим признакам (диаметру ствола и напряженности роста) указанные группы различались существенно, и опытные

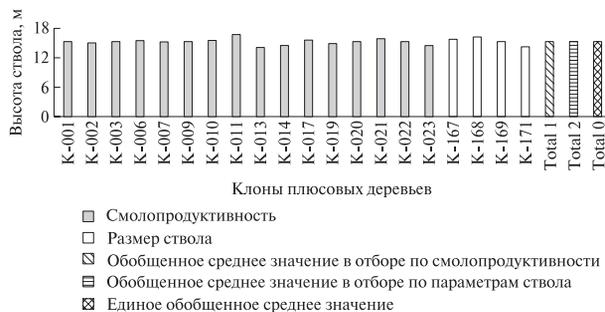


Рис. 1. Средняя высота ствола клонов плюсовых деревьев на лесосеменной плантации № 10

Fig. 1. Average trunk height of plus-tree clones on forest seed plantation No. 10

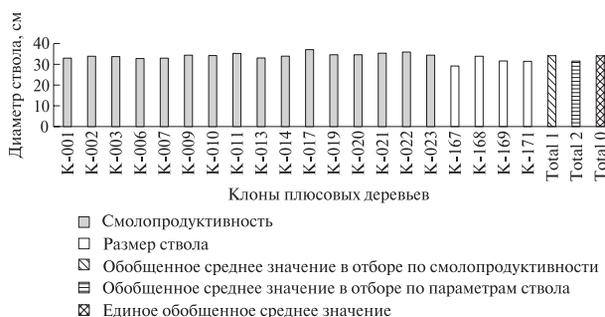


Рис. 2. Средний диаметр ствола клонов плюсовых деревьев на лесосеменной плантации № 10

Fig. 2. Average trunk diameter of plus-tree clones on forest seed plantation No. 10

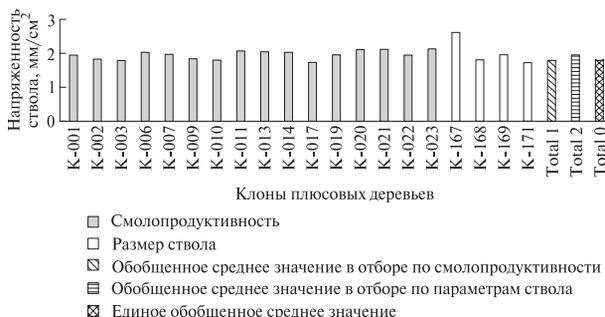


Рис. 3. Напряженность роста клонов плюсовых деревьев на лесосеменной плантации № 10

Fig. 3. Growth tension of plus tree clones in forest seed plantation number No. 10

значения критерия Фишера для них были в несколько раз больше пороговых уровней. Такой итог этого этапа работы позволил продолжить выполнение дисперсионного анализа в части оценки эффективности влияния фактора, вызвавшего возникновение отмеченных выше (см. рис. 1–3) фенотипических различий между вегетативными потомствами плюсовых деревьев.

Оценки силы влияния эндогенных различий между вегетативными потомствами плюсовых деревьев в составе их обобщенного массива сравнительно выравнены по анализируемым признакам. При этом наибольшие значения ( $13,58 \pm 2,86$  %)

Т а б л и ц а 1

**Существенность различий между плюсовыми деревьями**  
**Significance of differences between plus trees**

Признаки	$F_{оп}$	Доля влияния организованного фактора ( $h^2 \pm s_{h^2}$ )						Критерии различий	
		по Плохинскому			по Снедекору			НСР <sub>05</sub>	$D_{05}$
		$h^2$	$\pm s_{h^2}$	$F_h^2$	$h^2$	$\pm s_{h^2}$	$F_h^2$		
Полный состав плюсовых деревьев на лесосеменной плантации ( $F_{05/01} = 1,60/1,92$ )									
Признак 1	3,95	0,1157	0,0293	3,95	0,0914	0,0301	3,04	0,717	1,295
Признак 2	3,95	0,1156	0,0293	3,95	0,0912	0,0301	3,03	2,015	3,643
Признак 3	4,75	0,1358	0,0286	4,75	0,1132	0,0294	3,86	0,179	0,323
Плюсовые деревья, отобранные по смолопродуктивности ( $F_{05/01} = 1,68/2,04$ )									
Признак 1	3,79	0,0980	0,0259	3,79	0,0771	0,0265	2,91	0,693	1,252
Признак 2	2,88	0,0762	0,0265	2,88	0,0532	0,0272	1,96	1,948	3,521
Признак 3	2,56	0,0683	0,0267	2,56	0,0445	0,0274	1,63	0,172	0,310
Плюсовые деревья, отобранные по таксационным показателям ( $F_{05/01} = 2,79/4,21$ )									
Признак 1	13,25	0,4380	0,0331	13,25	0,4719	0,0311	15,19	0,633	1,144
Признак 2	9,33	0,3543	0,0380	9,33	0,3779	0,0366	10,33	1,774	3,206
Признак 3	14,65	0,4628	0,0316	14,65	0,4988	0,0295	16,92	0,186	0,336
Плюсовые деревья, отобранные по разным критериям ( $F_{05/01} = 3,86/6,68$ )									
Признак 1	0,28	0,0005	0,0017	0,28	—	—	—	0,407	0,734
Признак 2	17,89	0,0293	0,0016	17,89	0,1447	0,0014	100,16	1,128	2,034
Признак 3	25,90	0,0419	0,0016	25,90	0,1996	0,0014	147,66	0,101	0,181

*Примечания.* 1.  $F_{оп}$  — опытное значение критерия Фишера;  $h^2$  — доля влияния фактора;  $\pm s_{h^2}$  — ошибка доли влияния фактора;  $F_h^2$  — достоверность доли влияния фактора; НСР<sub>05</sub> — наименьшая существенная разность;  $D_{05}$  — критерий Тьюки. 2. Признак 1 — высота ствола; признак 2 — диаметр ствола на 1,3 м; признак 3 — напряженность роста.

характерны для показателя напряженности роста (признак 3), а наименьшие ( $11,56 \pm 2,93$  %) — для диаметра ствола на высоте 1,3 м (признак 2). Влияния различий между вегетативными потомствами плюсовых деревьев, выделенных по разным критериям отбора, неодинаково по своей силе при сравнительной выравненности оценок в пределах рассматриваемых групп (см. табл. 1). У потомств плюсовых деревьев, отобранных по смолопродуктивности, наибольшие значения ( $9,80 \pm 2,59$  %) характерны для высоты ствола (признак 1), а наименьшие ( $6,83 \pm 2,67$  %) — для показателя напряженности роста (признак 3). В соответствии с отмеченным ранее большим расхождением средних значений в группе клонов, чьи плюсовые деревья отобраны по параметрам стволов (см. рис. 1–3), оценки доли влияния различий между ними выше и составили: от  $35,43 \pm 3,80$  % для диаметра ствола на высоте 1,3 м (признак 2) до  $46,28 \pm 3,16$  % для показателя напряженности роста (признак 3).

Совершенно иная картина итогов анализа наблюдается при его применении в сравнении между собой двух различающихся по критериям отбора совокупностей клонов (см. табл. 1). В этом случае по высоте (признак 1) плюсовые деревья недостоверно различались на уровне  $0,05 \pm 0,17$  %; по диаметру ствола (признак 2) — на уровне  $2,93 \pm 0,16$  % при подтвержденной достоверности

( $F_h^2 = 17,89$  при  $F_{05/01} = 3,86/6,68$ ) по напряженности роста (признак 3) — на уровне  $4,19 \pm 0,16$  % также при подтвержденной достоверности ( $F_h^2 = 25,90$  при том же  $F_{05/01} = 3,86/6,68$ ). Представленные значения получены в ходе реализации расчетного алгоритма Плохинского. Их вычисление по алгоритму Снедекора дало вполне сопоставимый результат.

Критерии существенности различий (НСР<sub>05</sub> и  $D_{05}$ ) позволили установить, между какими именно плюсовыми деревьями (при сравнении их клонов) разность средних значений соответствует уровню существенности (см. табл. 1). В частности, по высоте ствола плюсовое дерево К-001 имело существенные различия с 19 другими, в то время как плюсовые деревья К-003, К-006 и К-022 — только с 8. Полученные в таком порядке оценки степени сходства какого-либо из плюсовых деревьев в составе лесосеменной плантации № 10 с тем или иным числом остальных плюсовых деревьев позволяют выделить в их совокупности наиболее отличающиеся от общей массы объекты.

Двухфакторный дисперсионный анализ (табл. 2), выполненный по иерархической схеме, позволил детально оценить эффекты влияния на формирование фенотипических различий в таксационных показателях плюсовых деревьев таких факторов, как различия в направлениях плюсовой селекции, критериях отбора (различия между

## Двухфакторный дисперсионный анализ параметров ствола

## Two-way analysis of variance for trunk parameters

Источники дисперсии (факторы влияния)	$F_{\text{оп}}$	Доля влияния организованного фактора ( $h^2 \pm s_h^2$ )					
		по Плохинскому			по Снедекору		
		$h^2$	$\pm s_h^2$	$F_h^2$	$h^2$	$\pm s_h^2$	$F_h^2$
Высота ствола							
Критерии отбора ( $A$ )	0,07	0,0005	0,0017	0,27	—	—	—
Плюсовые деревья ( $B$ )	4,16	0,1153	0,0277	4,15	0,1209	0,0276	4,38
Остаток ( $Z$ )	—	0,8843	0,1157	7,64	0,8853	0,1147	7,72
Диаметр ствола на высоте 1,3 м							
Критерии отбора ( $A$ )	6,12	0,0293	0,0017	17,34	0,1421	0,0015	95,04
Плюсовые деревья ( $B$ )	3,11	0,0862	0,0287	3,01	0,0717	0,0291	2,46
Остаток ( $Z$ )	—	0,8844	0,1156	7,65	0,7862	0,2138	3,68
Показатель напряженности роста							
Критерии отбора ( $A$ )	8,03	0,0419	0,0017	25,11	0,1955	0,0014	139,46
Плюсовые деревья ( $B$ )	3,47	0,0939	0,0284	3,31	0,0776	0,0289	2,68
Остаток ( $Z$ )	—	0,8642	0,1358	6,36	0,7270	0,2730	2,66

*Примечания.* 1. Факторы влияния:  $A$  — организованный фактор высшей иерархии, действие которого связано с различиями в направлениях плюсовой селекции и критериях отбора плюсовых деревьев;  $B$  — организованный фактор нижней иерархии, действие которого обусловлено спецификой генотипов отобранных плюсовых деревьев;  $Z$  — остаточная дисперсия (остаток), наличие которой связано с пестротой микроусловий среды. 2. Показатели:  $F_{\text{оп}}$  — опытный критерий Фишера;  $F_{05}/F_{01}$  — значения критерия Фишера на 5%-м и 1%-м уровнях значимости ( $F_{A05}/F_{A01} = 4,41/8,28$ ;  $F_{B05}/F_{B01} = 1,62/1,92$ );  $h^2$  — показатель силы влияния фактора;  $\pm s_h^2$  — ошибка силы влияния фактора;  $F_h^2$  — достоверность силы влияния фактора.

группами плюсовых деревьев) и специфика генотипов отобранных в указанном порядке плюсовых деревьев (различия между собственно плюсовыми деревьями). Реализованные методы отбора (фактор  $A$ ), соответствующие разным подходам к назначению критериев выделения из популяций носителей лучших признаков и свойств, в конечном итоге оказали незначительное влияние на формирование общего фона фенотипической изменчивости таксационных показателей плюсовых деревьев, представленных в составе исследованной лесосеменной плантации № 10 (см. табл. 2). Если по высоте ствола фактор  $A$  вообще не вызвал возникновения существенных различий между группами, организованными на основе разных критериев отбора ( $F_{A\text{оп}} = 0,07$  при  $F_{A05}/F_{A01} = 4,41/8,28$ ), то по диаметру ствола ( $F_{A\text{оп}} = 6,12$  при  $F_{A05}/F_{A01} = 4,41/8,28$ ) и напряженности его роста ( $F_{A\text{оп}} = 8,03$  при  $F_{A05}/F_{A01} = 4,41/8,28$ ) различия были признаны существенными на 5%-м уровне значимости и несущественными — на 1%-м. На это указывают достигнутые в опыте расчетные значения критериев Фишера.

Эффективность действия фактора  $A$  по рассматриваемым признакам проявилась различным образом. Так, в расчетах по алгоритму Плохинского доля приходящейся на него общей дисперсии высоты ствола составила всего  $0,05 \pm 0,17\%$  при неподтвержденной достоверности оценок.

По диаметру на высоте 1,3 м эти оценки были равны  $2,93 \pm 0,17\%$ ; по напряженности роста —  $4,19 \pm 0,17\%$ , что было достоверным на 5%-м и недостоверно на 1%-м уровне значимости.

Эндогенные различия между клонами плюсовых деревьев (фактор  $B$ ), соответствующие специфике генотипов последних, оказали более заметное влияние на формирование общего фона фенотипической изменчивости всех таксационных показателей ассортиментного состава лесосеменной плантации № 10 (см. табл. 2). Это подтверждено расчетными значениями соответствующих критериев Фишера, которые на фоне своих пределов ( $F_{B05} = 1,62$  и  $F_{B01} = 1,92$ ) достигли величин: по высоте —  $F_{B\text{оп}} = 4,16$ ; по диаметру ствола —  $F_{B\text{оп}} = 3,11$ ; напряженности роста —  $F_{B\text{оп}} = 3,47$ . Это позволило признать различия существенными как на 5%-м уровне значимости, так и — на 1%-м. Эффективность действия фактора  $B$  достоверна на 5%-м и 1%-м уровне значимости и по анализируемым таксационным показателям имела сходные по величине оценки (см. табл. 2). В расчетах по алгоритму Плохинского они составили: по высоте ствола —  $11,53 \pm 2,77\%$ ; по диаметру на высоте 1,3 м —  $8,62 \pm 2,87\%$ ; по напряженности роста —  $9,39 \pm 2,84\%$ , что было достоверным на 5%-м и недостоверно на 1%-м уровне значимости. По алгоритму Снедекора получены адекватные значения. Оценки эффективности

действия данного организованного фактора (различия между плюсовыми деревьями) в смысловом и методическом отношении соответствуют значению коэффициента наследуемости в широком смысле, рассчитываемого в ходе проведения дисперсионного анализа.

Во всех случаях преобладала доля остаточной дисперсии (фактор  $Z$ ), возникновение которой связывают с действием неорганизованных методической схемой опыта условий среды. Оценки принимали значения от  $86,42 \pm 13,58$  % (напряженность роста) до  $88,43 \pm 11,56$  % (высота ствола) и  $88,44 \pm 11,56$  % (диаметр ствола). Такой результат свидетельствует о высокой чувствительности таксационных параметров стволов плюсовых деревьев сосны обыкновенной к экологическим факторам. Это свойство исследуемых растений, в свою очередь, обусловило снижение коэффициента наследуемости в широком смысле, что наблюдалось в однофакторном дисперсионном анализе и в анализе по фактору  $B$  реализованной двухфакторной иерархической схемы.

Между вегетативными потомствами плюсовых деревьев сосны обыкновенной, сосредоточенных на лесосеменной плантации, установлены существенные различия по линейным параметрам стволов и показателю напряженности их роста. В целом это согласуется с существующими представлениями о наследственно обусловленной специфичности плюсовых деревьев данной породы, фиксируемой по широкому спектру признаков, которые относятся к хозяйственно важным или имеющим адаптационное значение [1–3, 20–26]. Такие различия зафиксированы как в составе группы плюсовых деревьев, выделенных по смолопродуктивности, так и у особей, отобранных по таксационным показателям. Сравнение между собой групп плюсовых деревьев, отобранных по разным селекционным критериям (смолопродуктивности и параметрам ствола), не выявило существенных различий по их высоте, что может быть связано с проведением отбора лучших по выходу живицы особей из числа имеющих в целом преимущества в показателях роста и развития. Однако если по высоте ствола группа плюсовых деревьев, выделенных по смолопродуктивности, существенно не отличалась от отобранных по традиционным критериям массового отбора, то по диаметру ствола и напряженности его роста они имели существенные различия. Большой диаметр ствола в группе наиболее смолопродуктивных особей свидетельствует о связи данного показателя с повышенным выходом живицы. Имея большой диаметр при сравнительно близких значениях высоты, плюсовые деревья, отобранные по смолопродуктивности, характеризовались большей сбежистостью ствола, что соответство-

вало меньшим оценкам напряженности его роста. Такой результат позволяет признать полезным использование в качестве косвенного признака при отборе на смолопродуктивность преимущества деревьев в их развитии по диаметру.

## Выводы

1. Плюсовые деревья сосны обыкновенной, выделение которых проведено по разным направлениям селекции, предусматривающим в одном случае отбор на повышенную смолопродуктивность и на лучшие таксационные показатели — в другом, различались по отдельным параметрам ствола.

2. Различия в таксационных показателях клонов плюсовых деревьев сосны обыкновенной, выделенных по смолопродуктивности, равно как и выделенных по характеристикам стволов, в составе лесосеменных плантаций соответствуют уровню существенных, что указывает на специфику их генотипов.

3. Степень сходства между собой разных плюсовых деревьев по параметрам стволов неодинакова, как в разрезе их ассортиментного состава на лесосеменной плантации № 10, так и в отношении отдельных признаков, что подтверждено критериями существенности различий: наименьшей существенной разностью и  $D$ -критерием Тьюки, и указывает на различный уровень неидентичности каждого из плюсовых деревьев по отношению к остальным в их рассматриваемой совокупности.

## Список литературы

- [1] Бессчетнова Н.Н. Бессчетнов В.П. Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.). Морфометрия и физиология хвои плюсовых деревьев. Нижний Новгород: Изд-во НГСХА, 2014. 368 с.
- [2] Бессчетнова Н.Н. Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.). Репродуктивный потенциал плюсовых деревьев. Нижний Новгород: Изд-во НГСХА, 2015. 586 с.
- [3] Бессчетнова Н.Н. Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.). Эффективность отбора плюсовых деревьев. Нижний Новгород: Изд-во НГСХА, 2016. 382 с.
- [4] Krakau U.-K., Liesebach M., Aronen T., Lelu-Walter M.A., Schneck V. Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) // Forest Tree Breeding in Europe: Current State-of-the-Art and Perspectives. Managing Forest Ecosystems, 2013, v. 25, ch. 4, pp. 267–323. DOI: 10.1007/978-94-007-6146-9\_6
- [5] Zerbe S., Wirth P. Non-indigenous plant species and their ecological range in Central European pine (*Pinus sylvestris* L.) forests // Annals of Forest Science, 2006, v. 63, no. 2, pp. 189–203. DOI: 10.1051/forest:2005111
- [6] Бессчетнова Н.Н. Сравнительная оценка клонов плюсовых деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) по параметрам хвои в трехфакторном дисперсионном анализе // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник, 2012. № 6 (89). С. 199–204.
- [7] Бессчетнова Н.Н. К методике определения периода критического обезвоживания хвои плюсовых деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) // Вестник

- Марийского государственного технического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование, 2011. № 2 (12). С. 3–12.
- [8] Бессчетнова Н.Н. Содержание жиров в клетках побегов плюсовых деревьев сосны обыкновенной // ИзВУЗ. Лесной журнал, 2012. № 4/328. С. 48–55.
- [9] Leinonen I., Repo T., Hänninen H. Changing Environmental Effects on Frost Hardiness of Scots Pine During Dehardening // *Annals of Botany*, 1997, v. 79, iss. 2, pp. 133–137. DOI: 10.1006/anbo.1996.0321
- [10] Andersone U., Vinsh G. Changes of Morphogenic Competence in Mature *Pinus sylvestris* L. Buds in vitro // *Annals of Botany*, 2002, v. 90, iss. 2, pp. 293–298. DOI: 10.1093/aob/mcf176
- [11] Venäläinen M., Harju A.M., Kainulainen P., Viitanen H., Nikulainen H. Variation in the decay resistance and its relationship with other wood characteristics in old Scots pines // *Annals of Forest Science*, 2003, v. 60, no. 5, pp. 409–417. DOI: 10.1051/forest:2003033
- [12] Zha T., Kellomäki S., Wang K.-Y. Seasonal Variation in Respiration of 1 year old Shoots of Scots Pine Exposed to Elevated Carbon Dioxide and Temperature for 4 Years // *Annals of Botany*, 2003, v. 92, iss. 1, pp. 89–96. DOI: 10.1093/AOB/MCG118
- [13] Zha T., Kellomäki S., Wang K.-Y., Ryyppö A., Niinistö S. Seasonal and Annual Stem Respiration of Scots Pine Trees under Boreal Conditions // *Annals of Botany*, 2004, v. 94, iss. 6, pp. 889–896. DOI: 10.1093/aob/mch218
- [14] Bohne G., Woehlecke H., Ehwald R. Water Relations of the Pine Exine // *Annals of Botany*, 2005, v. 96, iss. 2, pp. 201–208. DOI: 10.1093/aob/mci169
- [15] Castro J. Short Delay in Timing of Emergence Determines Establishment Success in *Pinus sylvestris* across Microhabitats // *Annals of Botany*, 2006, v. 98, iss. 6, pp. 1233–1240. DOI: 10.1093/aob/mcl208
- [16] Wennström U., Bergsten U., Nilsson J.-E. Seedling establishment and growth after direct seeding with *Pinus sylvestris*: effects of seed type, seed origin, and seeding year // *Silva Fennica*, 2007, v. 41, iss. 2, pp. 299–314. DOI: 10.14214/sf.298
- [17] Salminen H., Jalkanen R., Lindholm M. Summer temperature affects the ratio of radial and height growth of Scots pine in northern Finland // *Annals of Forest Science*, 2009, v. 66, no. 810, 9 p. DOI: 10.1051/forest/2009074
- [18] Taulavuori E., Taulavuori K., Niinimäa A., Laine K. Effect of Ecotype and Latitude on Growth, Frost Hardiness, and Oxidative Stress of South to North Transplanted Scots Pine Seedlings // *International J. of Forestry Research*, 2010, v. 2010, ID 162084, 16 p. DOI: 10.1155/2010/162084
- [19] Бессчетнов В.П., Бессчетнова Н.Н. Селекционная оценка плюсовых деревьев сосны обыкновенной методами многомерного анализа // ИзВУЗ. Лесной журнал, 2012. № 2/326. С. 58–64.
- [20] Бессчетнов В.П., Бессчетнова Н.Н. Селекционная оценка плюсовых деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) по параметрам шишек // Вестник Саратовского государственного аграрного университета им. Н.И. Вавилова. Естественные, технические, экономические науки, 2012. № 06. С. 13–16.
- [21] Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П. Селекционная оценка плюсовых деревьев сосны обыкновенной по выходу семян из шишек // Вестник Казанского государственного аграрного университета, 2014. № 2 (32). С. 82–84.
- [22] Lindgren D., Prescher F. Optimal clone number for seed orchards with tested clones // *Silvae Genetica*, 2005, v. 54, iss. 2, pp. 80–92. DOI: 10.1515/sg-2005-0013
- [23] Kroon J., Wennström U., Prescher F., Lindgren D., Mullin T.J. Estimation of Clonal Variation in Seed Cone Production Over Time in a Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) Seed Orchard // *Silvae Genetica*, 2009, v. 58, iss. 1–2, pp. 53–62. DOI: 10.1515/sg-2009-0007
- [24] Vanek O., Procházková Z., Matějka K. Analysis of the genetic structure of a model Scots pine (*Pinus sylvestris*) seed orchard for development of management strategies // *J. of forest sciences*, 2013, v. 59, no. 10, pp. 377–387. DOI: 10.17221/39/2013-JFS
- [25] Marčiulynas A., Sirgedaitė-Šežienė V., Žemaitis P., Jansons Ā., Baliuckas V. Resistance of Scots pine half-sib families to *Heterobasidion annosum* in progeny field trials // *Silva Fennica*, 2020, v. 54, no. 4, ID 10276, 17 p. DOI: 10.14214/sf.10276
- [26] Бессчетнова Н.Н. Многомерная оценка плюсовых деревьев сосны по степени развития ксилемы // Вестник Саратовского государственного аграрного университета им. Н.И. Вавилова. Естественные, технические, экономические науки, 2012. № 07. С. 9–14.
- [27] Бессчетнов В.П., Бессчетнова Н.Н. Образование и лигнификация ксилемы плюсовых деревьев сосны обыкновенной // ИзВУЗ Лесной журнал, 2013. № 2/332. С. 45–52.
- [28] Fries A., Ericsson T. Genetic parameters for earlywood and latewood densities and development with increasing age in Scots pine // *Annals of Forest Science*, 2009, v. 66, no. 4, article no. 404, 8 p. DOI: 10.1051/forest/2009019
- [29] Peltola H., Gort J., Pulkkinen P., Gerendia A.Z., Karppinen J., Ikonen V.-P. Differences in growth and wood density traits in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) genetic entries grown at different spacing and sites // *Silva Fennica*, 2009, v. 43, no. 3, pp. 339–354. DOI: 10.14214/sf.193
- [30] Hallingbäck H.R., Jansson G., Hannrup B., Fries A. Which annual rings to assess grain angles in breeding of Scots pine for improved shape stability of sawn timber? // *Silva Fennica*, 2010, v. 44, no. 2, pp. 275–288. DOI: 10.14214/sf.154
- [31] Androsiuk P., Zielinski R., Polok K. B-SAP markers derived from the bacterial KatG gene differentiate populations of *Pinus sylvestris* and provide new insights into their postglacial history // *Silva Fennica*, 2011, v. 45, no. 1, pp. 3–18. DOI: 10.14214/sf.29
- [32] Torimaru T., Wennström U., Lindgren D., Wang X.-R. Effects of male fecundity, interindividual distance and anisotropic pollen dispersal on mating success in a Scots pine (*Pinus sylvestris*) seed orchard // *Heredity* (Edinb), 2012, v. 108, no. 3, pp. 312–321. DOI: 10.1038/hdy.2011.76
- [33] Бессчетнов В.П., Бессчетнова Н.Н., Храмова О.Ю., Клишина Л.И., Печникова Н.Д. Показатели химического и гранулометрического состава дерново-подзолистых почв под сосновыми лесами на территории заповедника «Керженский» Нижегородской области // Вестник Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии, 2020. № 2 (26). С. 34–42.
- [34] Бессчетнова Н.Н., Горелов Н.И., Козлов Н.А. Идентификационное значение угла крепления ветвей при изучении вегетативного потомства плюсовых деревьев сосны обыкновенной // Лесоводство Нижегородской области на рубеже веков. Нижний Новгород: Изд-во НГСХА, 2004. С. 28–43.
- [35] Бессчетнова Н.Н. Изменчивость вегетативного потомства плюсовых деревьев сосны обыкновенной по величине угла крепления ветвей // Интеграция науки, образования и производства для развития лесного хозяйства и лесопромышленного комплекса. Материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Воронеж, 28–30 июня 2004 г. Воронеж: Изд-во Воронежского государственного университета, 2004. С. 33–35.
- [36] Бессчетнов В.П., Бессчетнова Н.Н., Терещанцев Н.А. Варьирование угла крепления боковых побегов к стволу плюсовых деревьев сосны обыкновенной // Вестник Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии, 2020. № 3 (27). С. 23–32.

- [37] Бессчетнова Н.Н. Поликросс-тест в определении оценок общей комбинационной способности сосны обыкновенной // Актуальные проблемы лесного комплекса. Сб. науч. трудов по итогам Междунар. науч.-тех. конф. / под ред. Е.А. Памфилова. Вып. 22. Брянск: Изд-во БГИТА, 2009. С. 10–14.
- [38] Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П., Оганян Т.А. Таксационные показатели вегетативного потомства плюсовых деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в архивах клонов в Нижегородской области // Экономические аспекты развития агропромышленного комплекса и лесного хозяйства. Лесное хозяйство Союзного государства России и Белоруссии. Материалы Междунар. науч.-практ. конф., Нижний Новгород, 26 сентября 2019 г. / под ред. Н.Н. Бессчетновой. Нижний Новгород: Изд-во НГСХА, 2019. С. 115–122.
- [39] Горелов А.Н., Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П. Таксационные показатели испытательных культур сосны обыкновенной в Нижегородской области // Актуальные проблемы лесного комплекса: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Брянск, 1–30 ноября 2020 г. Вып. 58 / под ред. Е.А. Памфилова. Брянск: Изд-во БГИТУ, 2020. С. 87–90.
- [40] Горелов А.Н., Бессчетнова Н.Н. Общая комбинационная способность плюсовых деревьев сосны обыкновенной в испытательных культурах в Нижегородской области // Современное лесное хозяйство — проблемы и перспективы: материалы Всерос. науч.-практ. конф., посвященной 50-летию ВНИИЛГИСбиотех, Воронеж, 3–4 декабря 2020 года. Воронеж: Истоки, 2020. С. 17–20.

## Сведения об авторах

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

**Бессчетнов Владимир Петрович** — д-р биол. наук, профессор, зав. кафедрой лесных культур Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии, [lesfak@bk.ru](mailto:lesfak@bk.ru)

**Горелов Алексей Николаевич** — аспирант кафедры лесных культур Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии, [alex05.55@list.ru](mailto:alex05.55@list.ru)

Поступила в редакцию 25.02.2021.

Принята к публикации 17.03.2021.

## GROWTH OF SCOTS PINE PLUS TREES CLONES, SELECTED BY RESIN PRODUCTIVITY IN NIZHNY NOVGOROD REGION

N.N. Besschetnova, V.P. Besschetnov, A.N. Gorelov

Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, 97, Gagarin Av., 603107, Nizhny Novgorod, Russia

[lesfak@bk.ru](mailto:lesfak@bk.ru)

The taxational indicators of clones of plus trees of Scots pine, selected by resin productivity, were studied in comparison with similar characteristics of plants, selected by linear parameters of the trunk. They are represented in the assortment of the forest seed plantation No. 10 in the Semenovskiy forestry of the Nizhny Novgorod region, created in 1984 on a plot with the type of forest growing conditions — B<sub>2</sub>, and the type of forest — maynikovo-lingonberry pine. In the organization of the work, the principle of the only logical difference was observed, as well as the requirements for the typicality, suitability and expediency of the experience. As a test marker for checking the purity of the clonal composition of the plantation, the value of the angle of attachment of the first-order lateral branches to the trunk was used. The height and diameter of the trunk are taken into account in 571 trees with a continuous list. The distribution of the average values of the analyzed indicators in the vegetative offspring of plus trees compared with each other is not uniform. The highest height ( $16,70 \pm 0,43$  m) observed in clones of the K-011 plus tree selected by resin productivity is 2,65 m or 1,19 times higher than the lowest value ( $14,05 \pm 0,44$  m) inherent in clones of the K-113 plus tree selected by the same criteria, and 2,02 m or 1,14 times higher than the lowest value ( $14,23 \pm 0,31$  m) inherent in clones of the K-171 plus tree selected by the same criteria taxational indicators of the trunk. Differences in the taxational indicators of clones in the group of plus trees distinguished by resin productivity, as well as in the group of trunks distinguished by characteristics, correspond to the level of significant ones, which indicates the specificity of their genotypes. The degree of similarity of the plus trees in terms of trunk parameters is not the same, which indicates a different level of individual non-identity of each of the plus trees in relation to the others in their considered population.

**Keywords:** Scots pine, resin productivity, plus trees, trunk parameters, significance of differences, heritability coefficient

**Suggested citation:** Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Gorelov A.N. *Rost klonov plusovykh derev'ev sosny obyknovnoy, otobrannykh v Nizhegorodskoy oblasti po smoloproduktivnosti* [Growth of Scots pine plus trees clones, selected by resin productivity in Nizhny Novgorod region]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 4, pp. 5–14. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-4-5-14

## References

- [1] 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: NGSKhA, 2014, 369 p.
- [2] Besschetnova N.N. *Sosna obyknovennaya (Pinus sylvestris L.). Reprodukivnyy potentsial plyusovykh derev'ev* [Scots pine (*Pinus sylvestris L.*). Reproductive potential of plus trees.]. Nizhny Novgorod: NGSKhA, 2015, 586 p.
- [3] 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: NGSKhA, 2016, 464 p.
- [4] Krakau U.-K., Liesebach M., Aronen T., Lelu-Walter M.A., Schneck V. Scots pine (*Pinus sylvestris L.*) // Forest Tree Breeding in Europe: Current State-of-the-Art and Perspectives. *Managing Forest Ecosystems*, 2013, v. 25, ch. 4, pp. 267–323. DOI: 10.1007/978-94-007-6146-9\_6
- [5] Zerbe S., Wirth P. Non-indigenous plant species and their ecological range in Central European pine (*Pinus sylvestris L.*) forests. *Annals of Forest Science*, 2006, v. 63, no. 2, pp. 189–203. DOI: 10.1051/forest:2005111
- [6] Besschetnova N.N. *Sravnitel'naya otsenka klonov plyusovykh derev'ev sosny obyknovennoy (Pinus sylvestris L.) po parametram khvoi v trekhfaktornom dispersionnom analize* [Comparative evaluation of clones of plus trees of Scots pine (*Pinus sylvestris L.*) by the parameters of needles in a three-factor analysis of variance]. *Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik*, 2012, no. 6 (89), pp. 199–204.
- [7] Besschetnova N.N. *K metodike opredeleniya perioda kriticheskogo obezvozhvaniya khvoi plyusovykh derev'ev sosny obyknovennoy (Pinus sylvestris L.)* [On the method of determining the period of critical dehydration of needles of plus trees of Scots pine (*Pinus sylvestris L.*)]. *Vestnik Mariyskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie* [Bulletin of the Mari State Technical University. Series: Forest. Ecology. Environmental management], 2011, no. 2 (12), pp. 3–12.
- [8] Besschetnova N.N. *Soderzhanie zhиров v kletkakh pobegov plyusovykh derev'ev sosny obyknovennoy* [The content of fats in the cells of shoots of plus trees of Scots pine]. *Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal)*, 2012, no. 4/328, pp. 48–55.
- [9] Leinonen I., Repo T., Hänninen H. Changing Environmental Effects on Frost Hardiness of Scots Pine During Dehardening. *Annals of Botany*, 1997, v. 79, iss. 2, pp. 133–137. DOI: 10.1006/anbo.1996.0321
- [10] Andersone U., Vinsh G. Changes of Morphogenic Competence in Mature *Pinus sylvestris L.* Buds in vitro. *Annals of Botany*, 2002, v. 90, iss. 2, pp. 293–298. DOI: 10.1093/aob/mcf176
- [11] Venäläinen M., Harju A.M., Kainulainen P., Viitanen H., Nikulainen H. Variation in the decay resistance and its relationship with other wood characteristics in old Scots pines. *Annals of Forest Science*, 2003, v. 60, no. 5, pp. 409–417. DOI: 10.1051/forest:2003033
- [12] Zha T., Kellomäki S., Wang K.-Y. Seasonal Variation in Respiration of 1 year old Shoots of Scots Pine Exposed to Elevated Carbon Dioxide and Temperature for 4 Years. *Annals of Botany*, 2003, v. 92, iss. 1, pp. 89–96. DOI: 10.1093/AOB/MCG118
- [13] Zha T., Kellomäki S., Wang K.-Y., Ryyppö A., Niinistö S. Seasonal and Annual Stem Respiration of Scots Pine Trees under Boreal Conditions. *Annals of Botany*, 2004, v. 94, iss. 6, pp. 889–896. DOI: 10.1093/aob/mch218
- [14] Bohne G., Woehlecke H., Ehwald R. Water Relations of the Pine Exine. *Annals of Botany*, 2005, v. 96, iss. 2, pp. 201–208. DOI: 10.1093/aob/mci169
- [15] Castro J. Short Delay in Timing of Emergence Determines Establishment Success in *Pinus sylvestris* across Microhabitats. *Annals of Botany*, 2006, v. 98, iss. 6, pp. 1233–1240. DOI: 10.1093/aob/mcl208
- [16] Wennström U., Bergsten U., Nilsson J.-E. Seedling establishment and growth after direct seeding with *Pinus sylvestris*: effects of seed type, seed origin, and seeding year. *Silva Fennica*, 2007, v. 41, iss. 2, pp. 299–314. DOI: 10.14214/sf.298
- [17] Salminen H., Jalkanen R., Lindholm M. Summer temperature affects the ratio of radial and height growth of Scots pine in northern Finland. *Annals of Forest Science*, 2009, v. 66, no. 810, 9 p. DOI: 10.1051/forest/2009074
- [18] Taulavuori E., Taulavuori K., Niinimaa A., Laine K. Effect of Ecotype and Latitude on Growth, Frost Hardiness, and Oxidative Stress of South to North Transplanted Scots Pine Seedlings. *International J. of Forestry Research*, 2010, v. 2010, ID 162084, 16 p. DOI: 10.1155/2010/162084
- [19] Besschetnov V.P., Besschetnova N.N. *Selektsionnaya otsenka plyusovykh derev'ev sosny obyknovennoy metodami mnogomernogo analiza* [Selection evaluation of plus trees of Scots pine by methods of multivariate analysis]. *Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal)*, 2012, no. 2/326, pp. 58–64.
- [20] Besschetnov V.P., Besschetnova N.N. *Selektsionnaya otsenka plyusovykh derev'ev sosny obyknovennoy (Pinus sylvestris L.) po parametram shishek* [Selection evaluation of plus trees of Scots pine (*Pinus sylvestris L.*) according to the parameters of cones]. *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta im. N.I. Vavilova. Estestvennye, tekhnicheskije, ekonomicheskie nauki* [Bulletin of the Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Natural, technical, and economic sciences], 2012, no. 06, pp. 13–16.
- [21] Besschetnova N.N., Besschetnov V.P. *Selektsionnaya otsenka plyusovykh derev'ev sosny obyknovennoy po vykhodu semyan iz shishek* [Selection evaluation of plus trees of Scots pine by the yield of seeds from cones]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Kazan State Agrarian University], 2014, no. 2 (32), pp. 82–84.
- [22] Lindgren D., Prescher F. Optimal clone number for seed orchards with tested clones. *Silvae Genetica*, 2005, v. 54, iss. 2, pp. 80–92. DOI: 10.1515/sg-2005-0013
- [23] Kroon J., Wennström U., Prescher F., Lindgren D., Mullin T.J. Estimation of Clonal Variation in Seed Cone Production Over Time in a Scots pine (*Pinus sylvestris L.*) Seed Orchard. *Silvae Genetica*, 2009, v. 58, iss. 1–2, pp. 53–62. DOI: 10.1515/sg-2009-0007
- [24] Vanek O., Procházková Z., Matějka K. Analysis of the genetic structure of a model Scots pine (*Pinus sylvestris*) seed orchard for development of management strategies. *J. of forest sciences*, 2013, v. 59, no. 10, pp. 377–387. DOI: 10.17221/39/2013-JFS
- [25] Marčiulynas A., Sirgedaitė-Šežienė V., Žemaitis P., Jansons Ā., Baliuckas V. Resistance of Scots pine half-sib families to Heterobasidion annosum in progeny field trials. *Silva Fennica*, 2020, v. 54, no. 4, ID 10276, 17 p. DOI: 10.14214/sf.10276
- [26] Besschetnova N.N. *Mnogomernaya otsenka plyusovykh derev'ev sosny po stepeni razvitiya ksilemy* [Multivariate assessment of plus pine trees by the degree of xylem development]. *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta im. N.I. Vavilova. Estestvennye, tekhnicheskije, ekonomicheskie nauki* [Bulletin of the Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Natural, technical, and economic sciences], 2012, no. 07, pp. 9–14.

- [27] Besschetnov V.P., Besschetnova N.N. *Образование и лигнификация ксилемы плюсовых деревьев сосны обыкновенной* [Formation and lignification of xylem of plus trees of Scots pine]. *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2013, no. 2/332, pp. 45–52.
- [28] Fries A., Ericsson T. Genetic parameters for earlywood and latewood densities and development with increasing age in Scots pine. *Annals of Forest Science*, 2009, v. 66, no. 4, article no. 404, 8 p. DOI: 10.1051/forest/2009019
- [29] Peltola H., Gort J., Pulkkinen P., Gerendiaín A. Z., Karppinen J., Ikonen V.-P. Differences in growth and wood density traits in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) genetic entries grown at different spacing and sites. *Silva Fennica*, 2009, v. 43, no. 3, pp. 339–354. DOI: 10.14214/sf.193
- [30] Hallingbäck H.R., Jansson G., Hannrup B., Fries A. Which annual rings to assess grain angles in breeding of Scots pine for improved shape stability of sawn timber?. *Silva Fennica*, 2010, v. 44, no. 2, pp. 275–288. DOI: 10.14214/sf.154
- [31] Androsiuk P., Zieliński R., Polok K. B-SAP markers derived from the bacterial KatG gene differentiate populations of *Pinus sylvestris* and provide new insights into their postglacial history. *Silva Fennica*, 2011, v. 45, no. 1, pp. 3–18. DOI: 10.14214/sf.29
- [32] Torimaru T., Wennström U., Lindgren D., Wang X.-R. Effects of male fecundity, interindividual distance and anisotropic pollen dispersal on mating success in a Scots pine (*Pinus sylvestris*) seed orchard. *Heredity* (Edinb), 2012, v. 108, no. 3, pp. 312–321. DOI: 10.1038/hdy.2011.76
- [33] Besschetnov V.P., Besschetnova N.N., Khranova O.Yu., Klishina L.I., Pechnikova N.D. *Pokazateli khimicheskogo i granulometricheskogo sostava dernovo-podzolistykh pochv pod sosnovymi lesami na territorii zapovednika «Kerzhenskiy» Nizhegorodskoy oblasti* [Indicators of chemical and granulometric composition of sod-podzolic soils under pine forests in the territory of the Kerzhensky Nature Reserve of the Nizhny Novgorod region]. *Vestnik Nizhegorodskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [Bulletin of the Nizhny Novgorod State Agricultural Academy], 2020, no. 2 (26), pp. 34–42.
- [34] Besschetnova N.N., Gorelov N.I., Kozlov N.A. *Identifikatsionnoe znachenie ugla krepneniya vetvey pri izuchenii vegetativnogo potomstva plyusovykh derev'ev sosny obyknovnoy* [Identification importance of the angle of attachment of branches in the study of vegetative offspring of plus trees of Scots pine]. *Lesovodstvo Nizhegorodskoy oblasti na rubezhe vekov* [Forestry of the Nizhny Novgorod region at the turn of the century]. Nizhny Novgorod: NGSKhA, 2004, pp. 28–43.
- [35] Besschetnova N.N. *Izmenchivost' vegetativnogo potomstva plyusovykh derev'ev sosny obyknovnoy po velichine ugla krepneniya vetvey* [Variability of vegetative offspring of plus trees of Scots pine in terms of the angle of attachment of branches]. *Integratsiya nauki, obrazovaniya i proizvodstva dlya razvitiya lesnogo khozyaystva i lesopromyshlennogo kompleksa. Mater. Vserossiyskoy nauch.-prakt. konf. s mezhdunarodnym uchastiem* [Integration of science, education and production for the development of the forestry and the timber industry. Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation]. Voronezh, June 28–30, 2004. Voronezh: Voronezh State University, 2004, pp. 33–35.
- [36] Besschetnov V.P., Besschetnova N.N., Tereshantsev N.A. *Var'irovaniye ugla krepneniya bokovykh pobegov k stvolu plyusovykh derev'ev sosny obyknovnoy* [Variation of the angle of attachment of lateral shoots to the trunk of plus trees of Scots pine]. *Vestnik Nizhegorodskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [Bulletin of the Nizhny Novgorod State Agricultural Academy], 2020, no. 3 (27), pp. 23–32.
- [37] Besschetnova N.N. *Polikross-test v opredelenii otsenok obshchey kombinatsionnoy sposobnosti sosny obyknovnoy* [Polycross-test in determining the estimates of the general combinational ability of Scots pine]. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa* [Actual problems of the forest complex]. Collection of scientific works on the results of the international scientific and technical conference. Ed. by E.A. Pamfilov. Issue 22. Bryansk: BGITA, 2009, pp. 10–14.
- [38] Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Oganyan T.A. *Taksatsionnye pokazateli vegetativnogo potomstva plyusovykh derev'ev sosny obyknovnoy (Pinus sylvestris L.) v arkhivakh klonov v Nizhegorodskoy oblasti* [Taxational indicators of vegetative offspring of plus trees of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in the archives of clones in the Nizhny Novgorod region]. *Ekonomicheskie aspekty razvitiya agropromyshlennogo kompleksa i lesnogo khozyaystva. Lesnoe khozyaystvo Soyuznogo gosudarstva Rossii i Belorussii. Mater. Mezhdunarodnoy nauch.-prakt. konf.* [Economic aspects of the development of the agro-industrial complex and forestry. Forestry of the Union State of Russia and Belarus. Mater. of the international scientific and practical conference: Nizhny Novgorod, September 26, 2019]. Ed. N.N. Besschetnova. Nizhny Novgorod: NGSKhA, 2019, pp. 115–122.
- [39] Gorelov A.N., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P. *Taksatsionnye pokazateli ispytatel'nykh kul'tur sosny obyknovnoy v Nizhegorodskoy oblasti* [Taxation indicators of test crops of Scots pine in the Nizhny Novgorod region]. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Actual problems of the forest complex: according to the results of the international scientific and practical conference] Collection of scientific papers., November 1–30, 2020. Ed. E.A. Pamfilov. Iss. 58. Bryansk: BGITU, 2020, pp. 87–90.
- [40] Gorelov A.N., Besschetnova N.N. *Obshchaya kombinatsionnaya sposobnost' plyusovykh derev'ev sosny obyknovnoy v ispytatel'nykh kul'turakh v Nizhegorodskoy oblasti* [General combinational ability of plus trees of Scots pine in test cultures in the Nizhny Novgorod region]. *Sovremennoye lesnoe khozyaystvo — problemy i perspektivy: materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 50-letiyu VNIILGISbiotekh* [Modern forestry — problems and prospects. Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference dedicated to the 50th Anniversary of VNIILGISBIOTECH]. Voronezh, December 3–4, 2020. Voronezh: Istoki, 2020, pp. 17–20.

## Authors' information

**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](mailto: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](mailto:lesfak@mail.ru)

**Gorelov Aleksey Nikolaevich** — Post-graduate student of the Department of Forest Crops of the Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, [alex05.55@list.ru](mailto:alex05.55@list.ru)

Received 25.02.2021.

Accepted for publication 17.03.2021.

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ КУЛЬТУРФИТОЦЕНОЗОВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА

Д.Н. Клевцов, О.Н. Тюкавина, Н.Р. Сунгурова

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

d.klevtsov@narfu.ru

Рассмотрена биоэнергетическая продуктивность искусственных сосновых насаждений. Установлено, что в 30-летних искусственных сосновых ценозах наименьшее количество связанной древесным ярусом энергии наблюдается в лишайниковом типе условий местопроизрастания (443,1 ГДж/га), наибольшее — в черничном (1915,1 ГДж/га). В культурфитоценозах брусничного типа леса биоэнергетическая продуктивность занимает промежуточное положение (1210,7 ГДж/га). Показано, что наибольшей относительной величины аккумулированная энергия достигает в таком компоненте надземной фитомассы, как древесина ствола. По данной фракции варьирование наблюдается от 50,2 % в лишайниковом типе условий местопроизрастания до 65,8 % — в черничном, в расчете от общего запаса фитомассы лесных культур. Установлено, что второстепенное положение относительно данного показателя занимает древесная зелень. Доля энергетической продуктивности хвои в общей надземной фитомассе снижается при улучшении лесорастительных условий. Определено примерно равное соотношение депонирования энергии в исследованных типах сосняков искусственного происхождения фракциями коры и живых ветвей (7,2...11,7 %), а наименьшая доля аккумулированной энергии приходится на фракцию сухих сучьев (5,3...7,0 %).

**Ключевые слова:** биоэнергетическая продуктивность, лесные культуры, сосна обыкновенная, лесорастительные условия

**Ссылка для цитирования:** Клевцов Д.Н., Тюкавина О.Н., Сунгурова Н.Р. Сравнительный анализ биоэнергетической продуктивности культурфитоценозов сосны обыкновенной европейского севера // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 4. С. 15–20. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-4-15-20

Общеизвестно, что источником энергии для растительных организмов служит солнечная радиация, поглощаемая зелеными частями растений при фотосинтезе. В растительной клетке, содержащей хлоропласты, происходят первичное аккумулирование энергии, полученной с солнечными лучами, и синтез органических соединений. Для понимания эффективности деятельности первого трофического уровня фитоценозов недостаточно оценить действие фотоавтотрофного компонента лесных экосистем лишь в количественных характеристиках образованной фитомассы. Целесообразно данные о фитомассе выражать через количество запасаемой в ней энергии.

Значимость такого подхода обусловлена повышенным вниманием научного сообщества и бизнеса во многих странах мира в последние десятилетия к вопросам использования древесной биомассы в энергетических целях. На глобальном уровне признается, что рациональное и устойчивое лесопользование должно основываться на комплексном и системном подходе к организации хозяйственной деятельности при обязательном соблюдении экологических требований. Значительному экономическому успеху арендаторов лесных участков помимо заготовки и обработки древесины может способствовать организация и наращивание производств с использованием от-

ходов лесозаготовки и деревообработки для биоэнергетических целей. Данная переориентация в хозяйствовании способствует более эффективному использованию биоресурсного потенциала лесов и обеспечению экологического баланса.

Достаточные запасы древесного сырья, по мнению А.А. Мартынюка [1], позволяют переориентировать теплоснабжение в различных субъектах Российской Федерации с нефтепродуктов на биотопливо. Годичный прирост фитомассы на Земле эквивалентен 20...30 млрд т условного топлива и превышает показатели добычи нефти. Согласно мнению ученых, фитомасса наиболее значимый экологически чистый возобновляемый источник энергии после солнечной энергии [2]. Растительную биомассу считают «благородным» источником энергии, поскольку фитомассу и продукты ее биodeградации при сгорании рассматривают как часть природного карбонового цикла. Образующий при сгорании углекислый газ не относится к парниковым газам. Поэтому мировая научная общественность рассматривает растительную биомассу как перспективный энергетический ресурс [3–8]. Лесная биоэнергетика сглаживает энергозависимость, когда предприятия находятся на удалении от мест добычи газа, нефти, каменного угля. Кроме того, организация производств по комплексному энергетическому

использованию древесных отходов способствует решению социально-экономических проблем населения (особенно проживающего в удаленных районах), и прежде всего, предотвращает миграционные процессы, увеличивает количество рабочих мест [9].

В пеллетном производстве экономически оправданно использование отходов лесозаготовительной, деревообрабатывающей промышленности и отходов от переработки низкосортной древесины. Пеллеты и брикеты востребованы в качестве источника энергии в Китае, Европе, Северной Америке. Использование пеллетного топлива не требует модернизации традиционных угольных котельных и в условиях тенденции повышения цен на природные энергоносители будет расширяться, в частности в коммунальном хозяйстве [10].

Для получения биоэнергии используют пеллеты из опилок сосны [11–13], а также ее коры [14] и хвои [15]. Опилки сосны вводят в состав биомассы для производства пеллет, брикетов для улучшения их физических, механических и энергетических свойств [16–19].

## Цель работы

Цель работы — сравнение биоэнергетической продуктивности культур сосны обыкновенной, произрастающих в различных экологических условиях Балтийско-Белозерского лесного района таежной лесорастительной зоны Европейского Севера России.

## Материалы и методы

Исследования были проведены в таежной лесорастительной зоне европейской части России (Балтийско-Белозерский лесной район, Вологодская обл.). Объектами исследования служили чистые по составу участки 30-летних производственных культур сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), которые созданы методом посева семян на свежих незадернелых вырубках со слабой степенью захламленности в лишайниковом, брусничном и черничном типах лесорастительных условий. Древостои характеризуются существенными различиями по биопродукционному процессу. Обработка почвы на исследованных участках культурфитоценозов сосны обыкновенной с дренированными почвами заключалась в основном в измельчении и перемешивании подстилки с минеральными горизонтами на глубину до 15 см. Работы проводились вручную с помощью лопат и мотыг.

Полевым работам предшествовали камеральные работы по изучению документальных материалов и рекогносцировочное исследование подобранных искусственных сосновых насаждений. На этих подобранных участках культур про-

водили закладку временных пробных площадей и сбор данных в ходе проведения наблюдений и измерений на них. Исследование изучаемых культурфитоценозов сосны обыкновенной опиралось на методические разработки В.В. Огиевского, А.А. Хирова [20], Н.Н. Соколова [21], А.Р. Родина, М.Д. Мерзленко [22].

Первоначально на временных пробных площадях устанавливали лесоводственно-таксационные параметры искусственных сосняков. Затем в пределах всего диапазона варьирования размеров деревьев на пробной площади отбирали по 10 модельных деревьев, которые должны соответствовать определенным критериям (не иметь пороков в развитии кроны, быть без признаков повреждения стволов и по прочим дендрометрическим характеристикам). После отбора и валки каждое модельное дерево отдельно исследовали весовым способом с помощью электронного безмена с точностью  $\pm 50$  г по компонентам надземной фитомассы (живым ветвям, древесной зелени, сухим сучьям, коре и древесине ствола).

Таксационная характеристика изученных сосняков искусственного происхождения представлена в табл. 1.

Исходя из теплотворной способности и запаса органики в фракционном составе надземной фитомассы исследованных искусственных сосняков был проведен расчет количественных показателей связанной солнечной энергии. Для выявления закономерностей формирования надземной фитомассы и заключенной в ней энергии в исследуемых культурфитоценозах сосны полевые пофракционные весовые данные обрабатывали с помощью математических методов. При этом использовался регрессионный метод определения запасов фитомассы лесных насаждений, который считается достаточно точным

Т а б л и ц а 1

### Характеристика таксационных показателей 30-летних искусственных сосновых насаждений состава 10С по типам лесорастительных условий при первоначальной густоте 4000 посевных мест/га

Characteristics of the taxation indicators of 30-year-old artificial pine plantations with a composition of 10С by types of forest growing conditions with an initial density of 4000 sowing places/ha

Тип лесорастительных условий	Класс бонитета	Относительная полнота	Запас древесины, м <sup>3</sup> /га	Средние	
				диаметр, см	высота, м
Лишайниковый	V	0,9	40	3,7	4,4
Брусничный	III	1,0	106	6,2	8,6
Черничный	II	1,0	139	9,5	10,4

Т а б л и ц а 2

**Калорийность (ккал/кг) надземных компонентов сосны обыкновенной  
согласно данным разных авторов**  
Caloric content (kcal/kg) of aboveground components of Scots pine in studies by different authors

Фракции фитомассы	Теплотворная способность				Среднее значение
	По Н.П. Курбатскому [23]	По А.А. Молчанову [24]	По В.П. Дадыкину, Н.В. Кононенко [25]	По Н.И. Казмирову и др. [26]	
Хвоя	5226	5210	–	5148	5195
Древесина ствола	–	4921	4809...5024	4870	4903
Кора ствола	4825	4815	–	4887	4842
Ветви	4927	–	–	4990	4959

Т а б л и ц а 3

**Биоэнергетическая продуктивность (ГДж/га) исследованных  
30-летних сосновых культурфитоценозов**  
Bioenergetic productivity (GJ/ha) of the studied 30-year-old homogeneous pine stands

Тип лесорастительных условий	Компоненты надземной фитомассы											
	Ствол				Крона				Сухие сучья		Всего	
	древесина		кора		ветви		древесная зелень					
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Лишайниковый	222,3	50,2	52,0	11,7	40,2	9,1	105,1	23,7	23,5	5,3	443,1	100
Брусничный	699,4	57,8	128,8	10,6	118,1	9,8	184,9	15,3	79,5	6,5	1210,7	100
Черничный	1259,3	65,8	139,1	7,2	170,2	8,9	212,6	11,1	134,0	7,0	1915,1	100

*Примечание.* 1 — фактическое значение, 2 — относительное значение.

и универсальным, поскольку позволяет выявить регрессионную зависимость компонентов фитомассы модельных деревьев от их диаметра. В ходе камеральной обработки исходных эмпирических данных применяли программы Microsoft Office Excel и специализированную программу Curve Expert 1.3.

## Результаты и обсуждение

Теплотворную способность (калорийность) фракций надземной фитомассы исследованных культурфитоценозов сосны обыкновенной определяли по литературным данным. При этом провели анализ результатов, полученных исследователями по данному направлению в разных районах страны (табл. 2).

В ходе анализа литературных данных были выведены средние показатели теплотворной способности различного горючего материала. Так, для хвои, древесины, коры и ветвей они составляют 5195, 4903, 4842 и 4959 ккал/кг соответственно.

Аккумулированная различными компонентами надземной фитомассы искусственных сосновых молодняков энергия значительно изменяется по типам лесорастительных условий (табл. 3).

Высокая вариабельность биоэнергетической продуктивности изученных культурфитоценозов

сосны обыкновенной, на наш взгляд, объясняется производительностью их древостоев. Для выявления влияния типа лесорастительных условий на биоэнергетическую продуктивность сосновых молодняков искусственного происхождения выполнен сравнительный анализ исследуемых объектов одинакового возрастного состояния (30 лет). В результате проведенной оценки можно отметить, что наименьшее количество аккумулированной древостоем 30-летних сосновых культурфитоценозов энергии наблюдается в лишайниковом типе условий местопроизрастания (443,1 ГДж/га), наибольшее — в черничном типе лесорастительных условий (1915,1 ГДж/га). В искусственно созданном сосняке брусничном биоэнергетическая продуктивность характеризуется промежуточным положением (1210,7 ГДж/га).

Структура аккумулированной компонентами надземной фитомассы энергии исследованных нами сосновых насаждений искусственного происхождения обусловлена различными экологическими условиями их произрастания. Наибольшей относительной величины аккумулированная энергия достигает в таком компоненте надземной фитомассы, как древесина ствола. По данной фракции варьирование наблюдается от 50,2 % в лишайниковом типе условий местопроизрастания

до 65,8 % — в черничном, относительно общего запаса надземной фитомассы древесного яруса исследованных культурфитоценозов. К.С. Бобкова [27], исследуя сосновые фитоценозы средней тайги, установила подобную тенденцию, отмечая, что общее количество накапливаемой энергии в древесине ствола колеблется в пределах 57...65 %, в древесной зелени — 4...5 %, в ветвях — 4...7 %, в коре ствола — 5...6 %.

Второстепенное положение по относительной энергетической продуктивности занимает компонент надземной фитомассы — древесная зелень. Доля аккумулированной энергии по данной фракции надземной фитомассы уменьшается от наименее продуктивного сосняка лишайникового (23,7 %) к более производительному сосняку черничному (11,1 %). Такое распределение биоэнергетических запасов в древостоях исследуемых сосняков объясняется общими закономерностями продуцирования органики в разных экологических условиях, когда ассимиляционный аппарат и скелетная часть деревьев меняют пропорции в связи с бонитетом. Примерно в равном соотношении депонируют энергию в исследованных типах сосняков искусственного происхождения фракции коры и живых ветвей (7,2...11,7 %). Наименьшая доля аккумулированной древесным ярусом сосновых культурфитоценозов энергии по всем типам условий местопроизрастания приходится на фракцию сухих сучьев (5,3...7,0 %).

## Выводы

С улучшением условий произрастания биоэнергетическая продуктивность компонентов надземной фитомассы древесного яруса искусственно созданных ценозов сосны обыкновенной возрастает. Структура аккумулированной разными фракциями фитомассы энергии также обусловлена лесотипологическими условиями. Полученные в ходе проведенных исследований результаты целесообразно применять при расчете запасов горючих материалов в древостое сосновых молодняков для обоснования правильного выбора дозы огнегасящих химических средств и воды на тушение, а также для разработки комплекса профилактических противопожарных мероприятий. Установлен биоэнергетический потенциал фракций надземной фитомассы древостоев, который экономически и экологически обоснованно можно вовлекать в энергетическое использование. Данные выполненных исследований пригодны для интерпретации распределения компонентов надземной фитомассы в качестве составляющих энергетической емкости лесных биогеоценозов, а также для реализации природоохранных проектов и исследований.

## Список литературы

- [1] Мартынюк А.А. Оценка возможности использования древесной биомассы для теплоснабжения в целях перехода от нефтепродуктов на местные возобновляемые виды топлива // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2016, № 5. С. 33–37.
- [2] Бабич Н.А., Любов В.К. Энергетический потенциал среднетаежных сосняков-черничников искусственного происхождения // География Европейского Севера. Архангельск: Изд-во Педагогического государственного университета, 2002. С. 194–200.
- [3] Писаренко А.И., Страхов В.В. О некоторых современных задачах лесного сектора России // Лесное хозяйство, 2006. № 4. С. 5–7.
- [4] Berndes G., Hansson J. Bioenergy expansion in the EU: Cost-effective climate change mitigation, employment creation and reduced dependency on imported fuels // Energy Policy, 2007, no. 35(12), pp. 5965–5979.
- [5] Björheden R. Drivers behind the development of forest energy in Sweden // Biomass & Bioenergy, 2006, no. 30, pp. 289–295.
- [6] IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation // Intergovernmental Panel on Climate Change. 2011. URL: <https://www.ipcc.ch/2011/06/28/special-report-on-renewable-energy-sources-and-climate-change-mitigation-srren/> (дата обращения 25.12.2020)
- [7] Sandström F., Petersson H., Kruys N., Ståhl G. Biomass conversion factors (density and carbon concentration) by decay classes for dead wood of *Pinus sylvestris*, *Picea abies* and *Betula* spp. in boreal forests of Sweden // Forest Ecology and Management, 2007, no. 243(1), pp. 19–27.
- [8] Ximenes F.d.A., George B.H., Cowie A., Williams J., Kelly G. Greenhouse Gas Balance of Native Forests in New South Wales, Australia // Forests, 2012, no. 3(3), pp. 653–683.
- [9] Melin Y. Impacts of stumps and roots on carbon storage and bioenergy use in a climate change context // Doctoral Thesis Swedish University of Agricultural Sciences. Umeå SLU: Service/Repro, Uppsala, 2014, 74 p.
- [10] Рошупкин В.П. Ресурсы лесного фонда — в энергетике // Биоэнергетика, 2005. № 1. С. 6–7.
- [11] Bergstrom D., Israelsson S., Ohman M., Dahlqvist S.A., Gref R., Boman C., Wasterlund I. Effects of raw material particle size distribution on the characteristics of Scots pine sawdust fuel pellets // Fuel Processing Technology, 2008, v. 89, iss. 12, pp. 1324–1329.
- [12] Charis G., Danha G., Muzenda E. Characterizations of Biomasses for Subsequent Thermochemical Conversion: A Comparative Study of Pine Sawdust and *Acacia Tortilis* // Processes, 2020, v. 8, iss. 5, p. 546.
- [13] Li W.Z., Bu W.J., Jiang Y., Guo W.W., Wang Y., Yin X.L. Co-pelletization of edible fungi cultivation residue and pine sawdust: The optimal variable combinations // Environmental Progress & Sustainable Energy, 2020, v. 39, iss. 4, p. 13384.
- [14] Anerud E., Routa J., Bergstrom D., Eliasson L. Fuel quality of stored spruce bark — Influence of semi-permeable covering material // Fuel, v. 279, p. 118467.
- [15] Mandal S., Kumar G.V.P., Bhattacharya T.K., Tanna H.R., Jena P.C. Briquetting of Pine Needles (*Pinus roxburgii*) and Their Physical, Handling and Combustion Properties // Waste and Biomass Valorization, 2019, v. 10, iss. 8, pp. 2415–2424.
- [16] Boschetti W.T.N., Lopes A.D.P., Ribeiro R.A., Reyes R.Q., Carneiro A.D.O. Kraft lignin as an additive in pine and eucalyptus particle composition for briquette production // Revista Arvore, 2019, v.43, iss. 2, p. 430201.

- [17] Carrillo-Parra A., Contreras-Trejo J.C., Pompa-Garcia M., Pulgarin-Gamiz M.F., Rutiaga-Quinones J.G., Pamanes-Carrasco G., Ngangyo-Heya M. Agro-Pellets from Oil Palm Residues // Pine Sawdust Mixtures: Relationships of Their Physical, Mechanical and Energetic Properties, with the Raw Material Chemical Structure // Applied Sciences-Basel, 2020, v.10, iss. 18, p. 6383.
- [18] Martinez C.L.M., Sermiyagina E., Carneiro A.D.O., Vakkilainen E., Cardoso M. Production and characterization of coffee-pine wood residue briquettes as an alternative fuel for local firing systems in Brazil // Biomass & Bioenergy, 2019, v.123, pp. 70–77.
- [19] Nunez-Retana V.D., Rosales-Serna R., Prieto-Ruiz J.A., Wehenkel C., Carrillo-Parra A. Improving the physical, mechanical and energetic properties of Quercus spp. wood pellets by adding pine sawdust // Peerj, 2020, v.8, p. 9766.
- [20] Огиевский В.В., Хиров А.А. Обследование и исследование лесных культур. Л.: Изд-во Лесотехнической академии, 1967. 50 с.
- [21] Соколов Н.Н. Методические указания к дипломному проектированию по таксации пробных площадей. Архангельск: Редакционно-издательский отдел Архангельского лесотехнического института, 1978. 44 с.
- [22] Родин А.Р., Мерзленко М.Д. Методические рекомендации по изучению лесных культур старших возрастов. М.: Изд-во Всесоюзной академии сельскохозяйственных наук имени В.И. Ленина, 1983. 36 с.
- [23] Курбатский Н.П. Техника и тактика тушения лесных пожаров. М.: Гослесбумиздат, 1962. 154 с.
- [24] Молчанов А.А. Продуктивность органической массы в лесах различных зон. М.: Наука, 1971. 276 с.
- [25] Дадыкин В.П., Кононенко Н.В. О теплотворной способности органического материала древесных растений // Лесоведение, 1975. № 2. С. 30–37.
- [26] Казимиров Н.И., Волков А.Д., Зябченко С.С. Обмен веществ и энергии в сосновых лесах Европейского Севера. Л.: Наука, 1977. 304 с.
- [27] Бобкова К.С. Биологическая продуктивность хвойных лесов Европейского Северо-Востока. Л.: Наука, 1987. 156 с.

## Сведения об авторах

**Клевцов Денис Николаевич** — канд. с.-х. наук, доцент кафедры биологии, экологии и биотехнологии Высшей школы естественных наук и технологий, Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, d.klevtsov@narfu.ru

**Тюкавина Ольга Николаевна** — канд. с.-х. наук, доцент кафедры биологии, экологии и биотехнологии Высшей школы естественных наук и технологий, Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, o.tukavina@narfu.ru

**Сунгурова Наталья Рудольфовна** — д-р с.-х. наук, доцент кафедры ландшафтной архитектуры и искусственных лесов Высшей школы естественных наук и технологий, Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, nsungurova@yandex.ru

Поступила в редакцию 26.02.2021.

Принята к публикации 15.03.2021.

## COMPARATIVE ANALYSIS OF SCOTS PINE HOMOGENEOUS STANDS BIOENERGETIC PRODUCTIVITY IN EUROPEAN NORTH

**D. N. Klevtsov, O. N. Tyukavina, N. R. Sungurova**

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

o.tukavina@narfu.ru

The bioenergetic productivity of artificial pine stands is considered. It was found that in 30-year-old artificial pine coenoses, the lowest amount of energy associated with the tree layer is observed in the lichen type of growing conditions (443,1 GJ/ha), the highest — in the blueberry (1915,1 GJ/ha). Bioenergetic productivity occupies an intermediate position (1210,7 GJ/ha) in the cranberry-type forest culture phytocenoses. It is shown that the accumulated energy reaches the highest relative value in such a component of aboveground phytomass as trunk wood. For this fraction, the variation is observed from 50.2% in the lichen type of growing conditions to 65.8% in the blueberry type, based on the total stock of phytomass of forest crops. It is established that the secondary position relative to this indicator is occupied by woody greens. The share of the energy productivity of needles in the total aboveground phytomass decreases with the improvement of forest growing conditions. An approximately equal ratio of energy deposition in the studied types of artificial pine forests by the fractions of bark and live branches (7,2...11,7%) was determined, and the smallest share of accumulated energy falls on the fraction of dry branches (5,3...7,0 %).

**Keywords:** bioenergetic productivity; forest culture; scots pine; forest growing conditions

**Suggested citation:** Klevtsov D.N., Tyukavina O.N., Sungurova N.R. *Sravnitel'nyy analiz bioenergeticheskoy produktivnosti kul'tur fitotsenozov sosny obyknovennoy evropeyskogo severa* [Comparative analysis of Scots pine homogeneous stands bioenergetic productivity in European North]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 4, pp. 15–20. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-4-15-20

## References

- [1] Martynuk A.A. *Otsenka vozmozhnosti ispol'zovaniya drevesnoy biomassy dlya teplosnabzheniya v tselyakh perekhoda ot nefteproduktov na mestnye vozobnovlyаемые виды топлива* [Evaluation of the possibility of using wood biomass for heat supply in order to switch from petroleum products to local renewable fuels]. Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik, 2016, no. 5, pp. 33–37.
- [2] Babich N.A., Lyubov V.K. *Energeticheskiy potentsial srednetaezhnykh sosnyakov-chernichnikov iskusstvennogo proiskhozhdeniya* [Energy potential of Middle taiga pine-blueberry trees of artificial origin]. Geografiya Evropeyskogo Severa [Geography of the European North]. Arkhangelsk: Pedagogical State University Publishing House, 2002, pp. 194–200.
- [3] Pisarenko A.I., Strakhov V.V. *O nekotorykh sovremennykh zadachakh lesnogo sektora Rossii* [About some modern tasks of the forest sector of Russia]. Lesnoe khozyaystvo [Forestry], 2006, no. 4, pp. 5–7.
- [4] Berndes G., Hansson J. Bioenergy expansion in the EU: Cost-effective climate change mitigation, employment creation and reduced dependency on imported fuels. *Energy Policy*, 2007, no. 35(12), pp. 5965–5979.
- [5] Björheden R. Drivers behind the development of forest energy in Sweden. *Biomass & Bioenergy*, 2006, no. 30, pp. 289–295.
- [6] IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Intergovernmental Panel on Climate Change. 2011. Available at: <https://www.ipcc.ch/2011/06/28/special-report-on-renewable-energy-sources-and-climate-change-mitigation-srren/> (accessed 25.12.2020).
- [7] Sandström F., Petersson H., Kruys N., Ståhl G. Biomass conversion factors (density and carbon concentration) by decay classes for dead wood of *Pinus sylvestris*, *Picea abies* and *Betula* spp. in boreal forests of Sweden. *Forest Ecology and Management*, 2007, no. 243(1), pp. 19–27.
- [8] Ximenes F.d.A., George B.H., Cowie A., Williams J., Kelly G. Greenhouse Gas Balance of Native Forests in New South Wales, Australia. *Forests*, 2012, no. 3(3), pp. 653–683.
- [9] Melin Y. Impacts of stumps and roots on carbon storage and bioenergy use in a climate change context/ Doctoral Thesis Swedish University of Agricultural Sciences. Umeå SLU: Service/Repro, Uppsala, 2014, 74 p.
- [10] Roshchupkin V. *Resursy lesnogo fonda — v energetiku* [Resources of the forest fund-in power engineering]. *Bioenergetika* [Bioenergetika], 2005, no. 1, pp. 6–7.
- [11] Bergstrom D., Israelsson S., Ohman M., Dahlqvist S.A., Gref R., Boman C., Wasterlund I. Effects of raw material particle size distribution on the characteristics of Scots pine sawdust fuel pellets. *Fuel Processing Technology*, 2008, v. 89, iss. 12, pp. 1324–1329.
- [12] Charis G., Danha G., Muzenda E. Characterizations of Biomasses for Subsequent Thermochemical Conversion: A Comparative Study of Pine Sawdust and Acacia Tortilis. *Processes*, 2020, v. 8, iss. 5, p. 546.
- [13] Li W.Z., Bu W.J., Jiang Y., Guo W.W., Wang Y., Yin X.L. Co-pelletization of edible fungi cultivation residue and pine sawdust: The optimal variable combinations. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 2020, v. 39, iss. 4, p. 13384.
- [14] Anerud E., Routa J., Bergstrom D., Eliasson L. Fuel quality of stored spruce bark - Influence of semi-permeable covering material. *Fuel*, v. 279, p. 118467.
- [15] Mandal S., Kumar G.V.P., Bhattacharya T.K., Tanna H.R., Jena P.C. Briquetting of Pine Needles (*Pinus roxburgii*) and Their Physical, Handling and Combustion Properties. *Waste and Biomass Valorization*, 2019, v. 10, iss. 8, pp. 2415–2424.
- [16] Boschetti W.T.N., Lopes A.D.P., Ribeiro R.A., Reyes R.Q., Carneiro A.D.O. Kraft lignin as an additive in pine and eucalyptus particle composition for briquette production. *Revista Arvore*, 2019, v.43, iss. 2, p. 430201.
- [17] Carrillo-Parra A., Contreras-Trejo J.C., Pompa-Garcia M., Pulgarin-Gamiz M.F., Rutiaga-Quinones J.G., Pamanes-Carrasco G., Ngangyo-Heya M. Agro-Pellets from Oil Palm Residues / Pine Sawdust Mixtures: Relationships of Their Physical, Mechanical and Energetic Properties, with the Raw Material Chemical Structure. *Applied Sciences-Basel*, 2020, v.10, iss. 18, p. 6383.
- [18] Martinez C.L.M., Sermiyagina E., Carneiro A.D.O., Vakkilainen E., Cardoso M. Production and characterization of coffee-pine wood residue briquettes as an alternative fuel for local firing systems in Brazil. *Biomass & Bioenergy*, 2019, v.123, pp. 70–77.
- [19] Nunez-Retana V.D., Rosales-Serna R., Prieto-Ruiz J.A., Wehenkel C., Carrillo-Parra A. Improving the physical, mechanical and energetic properties of *Quercus* spp. wood pellets by adding pine sawdust. *PeerJ*, 2020, v.8, p. 9766.
- [20] Ogievskiy V.V., Khironov A.A. *Obsledovanie i issledovanie lesnykh kul'tur* [Survey and research of forest cultures]. Leningrad: Publishing House of the Forestry Academy, 1967, 50 p.
- [21] Sokolov N.N. *Metodicheskie ukazaniya k diplomnomu proektirovaniyu po taksatsii probnykh ploshchadey* [Methodological guidelines for diploma design on the taxation of sample plot]. Arkhangelsk: Editorial and Publishing Department of the Arkhangelsk Forestry Institute, 1978, 44 p.
- [22] Rodin A.R., Merzlenko M.D. *Metodicheskie rekomendatsii po izucheniyu lesnykh kul'tur starshikh vozrastov* [Methodological recommendations for the study of forest cultures of older ages]. Moscow: Publishing House of the All-Union Academy of Agricultural Sciences named after V. I. Lenin, 1983, 36 p.
- [23] Kurbatskiy N.P. *Tekhnika i taktika tusheniya lesnykh pozharov* [Technique and tactics of extinguishing forest fires]. Moscow: Goslesbumizdat, 1962, 154 p.
- [24] Molchanov A.A. *Produktivnost' organicheskoy massy v lesakh razlichnykh zon* [Productivity of organic mass in forests of different zones]. Moscow: Nauka [Science], 1971, 276 p.
- [25] Dadykin V.P., Kononenko N.V. *O teplotvornoy sposobnosti organicheskogo materiala drevesnykh rasteniy* [On the calorific value of the organic material of woody plants]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 1975, no. 2, pp. 30–37.
- [26] Kazimirov N.I., Volkov A.D., Zybchenko S.S. *Obmen veshchestv i energii v osnovnykh lesakh Evropeyskogo Severa* [Metabolism and energy in the pine forests of the European North]. Leningrad: Nauka [Science], 1977, 304 p.
- [27] Bobkova K.S. *Biologicheskaya produktivnost' khvoynykh lesov Evropeyskogo Severo-Vostoka* [Biological productivity of coniferous forests of the European North-East]. Leningrad: Nauka [Science], 1987, 156 p.

## Authors' information

**Klevcov Denis Nikolaevich** — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, d.klevtsov@narfu.ru

**Tyukavina Olga Nikolaevna** — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, o.tukavina@narfu.ru

**Sungurova Natal'ya Rudol'fovna** — Dr. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, nsungurova@yandex.ru

Received 26.02.2021.

Accepted for publication 15.03.2021.

## ВЛИЯНИЕ НИЗКОЧАСТОТНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ЛАБОРАТОРНУЮ ВСХОЖЕСТЬ СЕМЯН И ВЫХОД СЕЯНЦЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*PINUS SYLVESTRIS* L.)

А.И. Смирнов<sup>1</sup>, Ф.С. Орлов<sup>1</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 исследований, проводившихся в 2017 г. в лаборатории кафедры «Лесные культуры, селекция и дендрология» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал) и в Правдинском питомнике Пушкинского лесотехнического техникума Московской обл. Семена сосны обыкновенной с низкими посевными характеристиками 3-го класса качества, обрабатывали по технологии ПОСЭП низкочастотным генератором «Рост-Актив». Контролем служили необработанные семена. В результате предпосевной обработки лабораторная всхожесть приблизилась к показателям семян первого класса качества. Значительно увеличился выход однолетних сеянцев и их биометрические характеристики. Полученные результаты указывают на эффективность предпосевной обработки семян сосны низкочастотным ЭМП по технологии ПОСЭП для выращивания посадочного материала.

**Ключевые слова:** низкочастотное электромагнитное поле, технология ПОСЭП, сосна обыкновенная, *Pinus sylvestris*, семена

**Ссылка для цитирования:** Смирнов А.И., Орлов Ф.С., Аксенов П.А. Влияние низкочастотного электромагнитного поля на лабораторную всхожесть семян и выход сеянцев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) // Лесной вестник // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 4. С. 21–26.  
DOI: 10.18698/2542-1468-2021-4-21-26

Известно, что одним из основных этапов в создании лесных культур является выращивание стандартного посадочного материала [1], качество которого напрямую зависит от исходного качества семян. [2, 3], поэтому сохранение и улучшение посевных характеристик семян хозяйственно ценных древесных пород составляет одну из главных задач лесного хозяйства [4].

Для стабильного процесса восстановления лесов хозяйственно-ценными породами, такими, как сосна обыкновенная, ель европейская и др., в специализированных хозяйствах заготавливается до нескольких тонн семян хвойных и лиственных пород [5, 6]. К сожалению, заготовленные семена при длительном хранении утрачивают свои посевные качества до 20...50 % и более и в результате переходят в более низкую качественную категорию [7, 8]. По этой причине в лесных питомниках для выращивания посадочного материала иногда появляется необходимость использовать семена 2-го и даже 3-го класса, что повышает норму высева [9]. Для решения возникших проблем требуются современные эффективные технологии, которые смогли бы обеспечить восстановление частично утраченных качественных характеристик таких семян и повысить их всхожесть [10]. В 2012 г. нами была разработана и успешно опробована новая технология для выращивания лесокультурного материала — технология предпосевной обработки семян и сеянцев электромагнитным полем (ПОСЭП) [11] и создан прибор «Рост-Актив» на основе

генератора низкочастотного электромагнитного поля (ЭМП НЧ) [12].

В течение нескольких лет нами проводится исследование влияния предпосевной обработки семян хвойных пород ЭМП НЧ на их посевные качества, а также влияние ЭМП НЧ на рост сеянцев и их биометрические характеристики [13, 14].

Исследование было направлено на подтверждение ранее полученных нами результатов о влиянии ЭМП НЧ на всхожесть и энергию прорастания семян важнейших древесных пород, таких, как сосна обыкновенная [18–20]. Полученные результаты позволили сравнить «поведение» семян сосны обыкновенной из одной партии, обработанных ЭМП НЧ в условиях лабораторного проращивания и при их посеве в открытом грунте в условиях Правдинского питомника.

### Цель работы

Целью работы — определение эффективности влияния ЭМП НЧ на лабораторную всхожесть семян и выход сеянцев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.).

### Объекты и методы исследования

В мае 2017 г. было проведено сравнительное исследование контрольной и обработанной группы семян, где семена сосны обыкновенной 3-го класса качества (сбор 2014 г.) были обработаны ЭМП НЧ. Часть семян посеяли в посевном отделении Правдинского питомника Пушкинского лесотехнического техникума Московской обл.,



Рис. 1. Всходы семян сосны обыкновенной в Правдинском питомнике

Fig. 1. Seed shoots of Scots pine in the Pravdinsky nursery



Рис. 2. Проращивание опытных и контрольных семян сосны обыкновенной

Fig. 2. Germination of experimental and control seeds of Scots pine

Т а б л и ц а 1

**Характеристики энергии прорастания и всхожести семян сосны обыкновенной**

**Characteristics of germination energy and germination capacity of Scots pine seeds**

Варианты опытов и статистические показатели различий выборок	Энергия прорастания, %	Всхожесть, %
Контроль	69,1 ± 2,88	78,2 ± 3,36
Опыт (обработка ЭМП)	86,5 ± 3,41	96,7 ± 4,82
Процент к контролю	125,2	123,7
$t_{st}$	2,45	2,45
$t_{расч}$	<b>3,91</b>	<b>3,15</b>

другую часть заложили на проращивание в лаборатории кафедры «Лесные культуры, селекция и дендрология» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал). В качестве контроля использовали необработанные семена.

Лабораторные опыты проводили по стандартным методикам (в соответствии с ГОСТ 13056.1–67, ГОСТ 13056.6–97), а полевые опыты — по методическим рекомендациям, разработанным Всероссийским научно-исследовательским институтом лесоводства и механизации лесного хозяйства (ВНИИЛМ) и Московским государственным университетом леса (МГУЛ) [17]. Обработку семян сосны ЭМП НЧ для лабораторных и полевых опытов проводили по технологии ПОСЭП прибором «Рост-Актив» с частотой 16 Гц. Для определения всхожести семена проращивали в лабораторных условиях на специальной растительной — столе Якобсена, с постоянной температурой воды 24 °С [15]. Опытные и контрольные семена проращивали на увлажненной фильтровальной бумаге по 100 шт. в четырехкратной повторности в течение 15 суток, а энергию прорастания учитывали на седьмые сутки [15].

Посев семян в питомнике проводили вручную по 5-строчной схеме в трехкратной повторности для определения влияния ЭМП НЧ на выход сеянцев (рис. 1). Норму высева рассчитывали согласно общепринятым таблицам, в частности для семян сосны обыкновенной 3-го класса она составила 3,2 г/п. м., при этом глубина заделки семян — 1,5 см [16]. В течение вегетационного сезона на опытных и контрольных участках проводили агроходы, заключающиеся в ручной прополке (две прополки за сезон) и защитных мероприятиях путем опрыскивания всходов фунгицидами. В конце вегетационного сезона (в конце сентября) был проведен учет количества сеянцев на опытных площадках и отобраны сеянцы для замера биометрических показателей. Количество сеянцев, отобранных для замеров, составляло 30 шт. для каждого варианта эксперимента. Высоту сеянцев и длину корней измеряли линейкой с точностью до ±1 мм. Массовые характеристики сеянцев определяли в воздушносухом состоянии на аналитических весах с точностью взвешивания до ±1 мг.

**Результаты и обсуждение**

Анализ лабораторной всхожести и выхода сеянцев показал значительное превосходство опытных вариантов над контрольными (табл. 1, 2). В табл. 1 приведены средние арифметические значения посевных характеристик ± ошибка средней арифметической; объемы сравниваемых выборок: 4 повторности по 100 семян каждая для каждого варианта эксперимента (рис. 2, 3);  $t_{st}$  — стандартное значение  $t$ -критерия достоверности различий 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. В табл. 2 также представлены

Т а б л и ц а 2

**Учет выхода и биометрические параметры однолетних сеянцев сосны обыкновенной в питомнике Правдинского лесхозтехникума Московской обл.**

**Accounting for the yield and biometric parameters of annual seedlings of Scots pine in the nursery of the Pravdinsky forestry technical school, Moscow region**

Варианты опытов и статистические показатели различий выборок	Среднее число сеянцев, шт./п. м	Высота сеянца, см	Длина главного корня сеянца, см	Средняя масса корней, мг	Средняя масса надземной части (стебли + хвоя), мг	Масса целого растения, мг
Контроль	70,5 ± 2,28	3,84 ± 0,119	9,62 ± 0,381	18,8 ± 0,80	70,6 ± 2,73	89,6 ± 4,28
Опыт (обработка ЭМП)	81,8 ± 3,04	5,42 ± 0,248	11,27 ± 0,355	25,3 ± 1,22	88,7 ± 3,94	115,1 ± 5,88
Процент к контролю	116,0	141,1	117,2	134,6	125,6	128,5
$t_{st}$	2,01	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
$t_{расч}$	<b>2,97</b>	5,75	3,17	4,45	3,77	3,50



**Рис. 3.** Проростки семян сосны обыкновенной: контрольная (а) и опытная (б) группы  
**Fig. 3.** Scots pine seedlings: control (a) and experimental (b) groups

средние арифметические значения посевных характеристик ± ошибка средней арифметической; объемы сравниваемых выборок: для определения выхода посадочного материала с 1 п. м. — 26 п. м. для опыта и 26 п. м. для контроля; для измерения линейных и массовых характеристик — 30 шт. для опыта и 30 шт. для контроля.

В ходе наблюдений за динамикой прорастания семян сосны установлено, что на седьмые сутки учета в эксперименте количество проросших семян было больше на 25 %, чем у контрольных образцов, к концу проращивания — на пятнадцатые сутки — всхожесть обработанных ЭМП НЧ семян была на 24 % больше, чем у необработанных, и по количеству взошедших семян приблизилась к показателям семян I класса качества. Результаты поставленного эксперимента указывают на значительное влияние, которое оказывает низкочастотное ЭМП НЧ на основные качественные характеристики семян сосны обыкновенной (всхожесть, энергию прорастания).

По результатам учета, представленным в табл. 2, следует, что максимальное число сеянцев на 1 п. м составило 82 шт. в эксперименте, что превышает на 16 %. Высота их отличалась от контроля на 41 % и составила 5,4 см при 3,8 см

в контроле. На росте корней обработка ЭМП НЧ также положительно отразилась, длина их на 17 % больше, чем у контрольных образцов. Зафиксированы статистически достоверные на 5%-м уровне значимости различия массовых характеристик сеянцев. Средние опытные показатели массы корней, надземной части и целого сеянца превышают опытные на 34, 25 и 28 % соответственно.

### Выводы

Сравнительный анализ полученных данных показал, что результаты эксперимента по лабораторной всхожести и выхода сеянцев сосны обыкновенной показали превышение показателей контрольных образцов на 25 и 16 %, соответственно. Достоверно установлено положительное влияние ЭМП НЧ на выход и рост сеянцев сосны обыкновенной.

Лабораторные и полевые исследования продемонстрировали высокую эффективность предпосевной обработки семян сосны обыкновенной по технологии ПОСЭП и подтвердили ее возможности восстанавливать посевные качества семян после длительного хранения, повышать выход сеянцев и улучшать их биометрические показатели.

## Список литературы

- [1] Мелехов И.С. Лесоведение. М.: МГУЛ, 2002. 398 с.
- [2] Редько Г.И., Мерзленко М.Д., Бабич Н.А. Лесные культуры. СПб.: Изд-во СПбГЛТА, 2005. 556 с.
- [3] Булыгин Н.Е., Яришико В.Т. Дендрология. М.: МГУЛ, 2001. 528 с.
- [4] Родин А.Р. Интенсификация выращивания лесопосадочного материала. М.: Агропромиздат, 1989. 78 с.
- [5] Орехова Т.П. Создание долговременного банка семян древесных видов – реальный способ сохранения их генофонда // Хвойные бореальной зоны, 2010. Вып. XXVII. № 1–2. С. 25–31.
- [6] 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.
- [7] Смирнов С.Д. Опыт лесного семеноводства и селекции // Обзорная информация ЦБНТИ Госкомлеса. М.: ЦБНТИ лесного хозяйства, 1974. С. 20.
- [8] Gordon G.A. Seed manual for forest trees. UK, London: Forestry Commission, 1992. 132 p.
- [9] Пентелькина Н.В. Проблемы выращивания посадочного материала в лесных питомниках и пути их решения // Актуальные проблемы лесного комплекса: Сб. науч. тр. Вып. 31. Брянск: Изд-во БГИТА, 2012. С. 189–193.
- [10] 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. С. 58
- [11] 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.
- [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] Смирнов А.И., Орлов Ф.С., Беляев В.В., Аксенов П.А. Влияние низкочастотного электромагнитного поля на биометрические характеристики сеянцев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) // ИВУЗ. Лесной журнал, 2019. С. 78–84.
- [14] Смирнов А.И., Орлов Ф.С., Дроздов И.И. Приемы интенсивной агротехники при посеве семян хвойных видов // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2015. № 2. С. 65–68.
- [15] Новосельцева А.И., Смирнов Н.А. Справочник по лесным питомникам. М.: Лесная пром-сть, 1983. 280 с.
- [16] Чернов Н.Н. Лесные культуры. Екатеринбург: УГЛТУ, 2005. 26 с.
- [17] Рекомендации по восстановлению искусственным и комбинированным способами хвойных и твердолиственных молодняков на землях лесного фонда (с базовыми технологическими картами на выполнение работ). Пушкино: Изд-во ВНИИЛМ, 2015. 80 с.
- [18] Короблев Р.А. Влияние физических факторов и рост сеянцев сосны обыкновенной и березы повислой: дис. ... канд. с.-х. наук. Воронеж, 2003. 201 с.
- [19] Старухин Р.С., Белицын И.В., Хомутов О.И. Метод предпосевной обработки семян с использованием эллиптического электромагнитного поля // Ползуновский вестник, 2009. № 4. С. 97–103.
- [20] Комиссаров Г.Г. Влияние флуктуирующего электромагнитного поля на ранние стадии развития растений // Доклады РАН, 2006. Т. 406. № 1. С. 108–110.

## Сведения об авторах

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

**Орлов Федор Станиславович** — канд. с.-х. наук, ООО «Разносервис», ar-6@yandex.ru

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

Поступила в редакцию 01.03.2021.

Принята к публикации 25.03.2021.

## EFFECT OF LOW-FREQUENCY ELECTROMAGNETIC FIELD ON LABORATORY SEED GERMINATION AND SEEDLING YIELD OF SCOTS PINE (*PINUS SYLVESTRIS* L.)

A.I. Smirnov<sup>1</sup>, F.S. Orlov<sup>1</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 research that was conducted in 2017 in the laboratory of the Department of Forest crops, breeding and dendrology of the BMSTU (Mytishchi branch) and in the Pravdinsky nursery of the Pushkin forest technical College of the Moscow region. The purpose of the study was to determine the effectiveness of the influence of low-frequency electromagnetic field (EMF) on laboratory and ground germination of common pine (*Pinus sylvestris* L.) seeds with low seeding characteristics. Samples of common pine seeds of the 3rd quality class were selected for the study (collection 2014). The seeds selected for the study were treated with low-frequency EMF using POSEP technology (pre-sowing seed treatment with an electromagnetic field) with a low-frequency generator Rost-Active. One part of the seeds was laid for germination in the laboratory in 4-fold repetition, the other was sown in the sowing Department of the Pravdinsky nursery in 3-fold repetition, control was served by unprocessed seeds. As a result of pre-sowing treatment of pine seeds, laboratory germination exceeded the control by 25 %, and approached the indicators for class I seeds. In the Pravdinsky nursery, the yield of 1-year-old seedlings increased by 16 %, and their height was 47 % higher than the control. The results of laboratory and field studies have demonstrated the high efficiency of pre-sowing treatment of common pine seeds using POSEP technology and its ability to restore the seed quality after long-term storage, increase the yield of seedlings and improve their biometric indicators.

**Keywords:** low frequency electromagnetic field, technology POSEP, seeds of Scots pine

**Suggested citation:** Smirnov A.I., Orlov F.S., Aksenov P.A. *Vliyaniye nizkochastotnogo elektromagnitnogo polya na laboratornyuyu vskhozhest' semyan i vykhod seyantsev sosny obyknovennoy (Pinus sylvestris L.)* [Effect of low-frequency electromagnetic field on laboratory seed germination and seedling yield of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.)]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 4, pp. 21–26. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-4-21-26

### References

- [1] Melekhov I.S. *Lesovedenie* [Forestry]. Moscow: MGUL, 2002, 398 p.
- [2] Red'ko G.I., Merzlenko M.D., Babich N.A. *Lesnye kul'tury* [Forest crops]. St. Petersburg: SPbGLTA, 2005, 556 p.
- [3] Bulygin N.E., Yarmishko V.T. *Dendrologiya* [Dendrology]. Moscow: MGUL, 2001, 528 p.
- [4] Rodin A.R. *Intensifikatsiya vyrashchivaniya lesoposadochnogo materiala* [Intensification of the cultivation of forest planting material]. Moscow: Agropromizdat, 1989, 78 p.
- [5] Orekhova T.P. *Sozdanie dolgoversennogo banka semyan drevesnykh vidov – real'nyy sposob sokhraneniya ikh genofonda* [Creation of a long-term seed bank of woody species is a real way to preserve their gene pool]. *Khvoynye boreal'noy zony* [Coniferous boreal zones], 2010, v. XXVII, no. 1–2, pp. 25–31.
- [6] 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.
- [7] Smirnov S.D. *Opyt lesnogo semenovodstva i seleksii* [Experience of forest seed production and breeding]. *Obzornaya informatsiya TsBNTI Goskomlesa* [Survey information of the Central Bureau of Science and Technology of Goskomles]. Moscow: TsBNTI lesnogo khozyaystva, 1974, p. 20.
- [8] Gordon G.A. *Seed manual for forest trees*. UK, London: Forestry Commission, 1992, 132 p.
- [9] 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]. Coll. scientific. tr. Issue 31. Bryansk: BGITA, 2012, pp. 189–193.
- [10] 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]. *Diss. Cand. Sci. (Agric.)*. Moscow: MGUL, 2016, p. 58.
- [11] Smirnov A.I., Orlov F.S. *Sposob predposevnoy obrabotki semyan i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya* [The method of pre-sowing treatment of seeds and a device for its implementation]. Pat. 2591969 of the Russian Federation, applicant and patent holder of LLC Raznoservice, 2014, byul. no. 20.
- [12] Smirnov A.I., Orlov F.S. *Ustroystvo dlya predposevnoy obrabotki posevnoy materiala* [Device for pre-sowing treatment of seed]. Pat. 155132 RF, applicant and patent holder LLC Raznoservice, 2014, byul. no. 26.
- [13] Smirnov A.I., Orlov F.S., Belyaev V.V., Aksenov P.A.. *Vliyaniye nizkochastotnogo elektromagnitnogo polya na biometricheskie kharakteristiki seyantsev sosny obyknovennoy (Pinus sylvestris L.)* [Influence of low-frequency electromagnetic field on biometric characteristics of Scots pine seedlings (*Pinus sylvestris* L.)]. *Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal)*, 2019, pp. 78–84.
- [14] Smirnov A.I., Orlov F.S., Drozdov I.I.. *Priemy intensivnoy agrotekhniki pri poseve semyan khvoynnykh vidov* [Methods of intensive agricultural technology when sowing seeds of coniferous species]. *Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik*, 2015, no. 2, pp. 65–68.
- [15] Novosel'tseva A.I., Smirnov N.A. *Spravochnik po lesnym pitomnikam* [Handbook of forest nurseries]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Timber industry], 1983, 280 p.

- [16] Chernov N.N. *Lesnye kul'tury* [Forest crops]. Ekaterinburg: UGLTU, 2005, 26 p.
- [17] *Rekomendatsii po vosstanovleniyu iskusstvennym i kombinirovannym sposobami khvoynykh i tverdolistvennykh molodnyakov na zemlyakh lesnogo fonda (s bazovymi tekhnologicheskimi kartami na vypolnenie robot)* [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.
- [18] Koroblev R.A. *Vliyaniye fizicheskikh faktorov i rost seyantsev sosny obyknovennoy i berezy povisloy* [The influence of physical factors and the growth of seedlings of Scots pine and silver birch]. Diss. Cand. Sci. (Agric.). Voronezh, 2003, 201 p.
- [19] Starukhin R.S., Belitsyn I.V., Khomutov O.I. *Metod predposevnoy obrabotki semyan s ispol'zovaniem elipticheskogo elektromagnitnogo polya* [Method of pre-sowing treatment of seeds using an elliptic electromagnetic field]. Polzunovskii Bulletin, 2009, no. 4, pp. 97–103.
- [20] Komissarov G.G. *Vliyaniye fluktuiruyushchego elektromagnitnogo polya na rannie stadii razvitiya rasteniy* [Influence of fluctuating electromagnetic field on early stages of plant development]. Doklady RAN, 2006, v. 406, no. 1, pp. 108–110.

## Authors' information

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

**Orlov Fedor Stanislavovich** — Cand. Sci. (Agriculture), LLC «Raznoservis», ap-6@yandex.ru

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

Received 01.03.2021.

Accepted for publication 25.03.2021.

## ДИНАМИКА НАСАЖДЕНИЙ С УЧАСТИЕМ ЕЛИ В ЗАЩИТНЫХ ЛЕСАХ ПОДМОСКОВЬЯ

С.А. Коротков<sup>1, 2</sup>, Ю.И. Дробышев<sup>3</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>ФГБУН «Институт лесоведения РАН» (ИЛАН РАН), Московская обл., Одинцовский р-н, с. Успенское, ул. Советская, д. 21

<sup>3</sup>ФГБУН «Институт проблем экологии и эволюции имени А.Н. Северцова РАН», 119071, Москва, Ленинский проспект, д. 33

skorotkov-71@mail.ru

Представлены результаты исследований динамических процессов, протекающих в последние десятилетия в лесах Подмосковья с участием ели и обусловленных как климатическими изменениями, так и усиливающимся антропогенным влиянием. Демонстрируется тот факт, что еловые насаждения в современных условиях проявляют неустойчивость к засухам и вспышкам насекомых-вредителей, а в перспективе они также динамически неустойчивы и имеют тенденцию к распаду. Ситуация еще более осложняется ввиду запрета на сплошные рубки в защитных лесах Московской области и широкое распространение здесь монокультур, которые, к тому же, продолжают создаваться и сейчас. Установлено, что структура древостоев по возрасту и диаметру во многом определяется густотой древостоя и смешением пород, и наиболее выровнена в чистых высокополнотных лесах, причем оптимальная структура по диаметру формируется при доле ели 3–7 единиц. В результате долгосрочных наблюдений на постоянных пробных площадях в «Лосином острове» выявлено, что при естественном развитии лесных сообществ состав новых поколений леса крайне редко бывает близок к породному составу первого яруса. В большинстве случаев развитие идет в сторону широколиственных лесов с преобладанием липы. Та же тенденция к смене хвойных лесов липовыми показана для насаждений, где еловая часть древостоя погибла из-за короледа-типографа. Как на месте распавшихся ельников, так и под пологом сохранившихся формируется новое поколение леса, представленное лиственными породами с незначительным или единичным участием ели. Рекомендовано формирование в еловых лесах Подмосковья смешанных насаждений с долей ели 30–50 %, тогда как более высокая доля ели может быть приемлемой лишь на небольших участках (1–2 га). При этом следует избегать массового создания монодоминантных еловых культур.

**Ключевые слова:** ель, Подмосковье, структура насаждений, смена пород, монокультуры

**Ссылка для цитирования:** Коротков С.А., Дробышев Ю.И. Динамика насаждений с участием ели в защитных лесах Подмосковья // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 4. С. 27–33.

DOI: 10.18698/2542-1468-2021-4-27-33

Стремительно возрастающие антропогенные воздействия на защитные леса Подмосковья на фоне глобальных климатических изменений ведут к сокращению лесных площадей, снижению устойчивости и изменению породного состава древостоев, вследствие чего доля ели в лесных древостоях снижается. Искусственное воспроизводство лесов в своем большинстве не обеспечивает баланс экологических систем, поскольку не вполне отвечает научно обоснованным методам создания устойчивых лесов на территориях с повышенными техногенными и антропогенными нагрузками. Достичь эффективного результата в лесовосстановлении можно при учете как существующих (и прогнозируемых) нагрузок, так и при имеющих место трендах структуры древостоев.

В своих исследованиях мы исходили из следующих принципов:

– анализ строения растительных сообществ, в том числе древостоев, опирается на закономерности, охватывающие структурные единицы сообщества, их взаимодействие, а также направление динамики;

– структура древостоя определяет ценотическую структуру лесного фитоценоза;

– закономерности строения древостоев могут быть эффективно выражены в относительных единицах.

### Цель работы

Цель работы — выявление закономерностей роста и формирования коренных и производных насаждений с участием ели в защитных лесах Подмосковья.

### Материалы и методы

Перед исследованием были поставлены четыре задачи:

- 1) изучение структуры, закономерностей роста и формирования коренных и производных насаждений с участием ели;
- 2) установление критериев для оценки устойчивости еловых сообществ;
- 3) исследование естественного возобновления под пологом хвойно-широколиственных лесов;
- 4) наблюдение направления смены пород в лесах хвойно-широколиственной зоны.

Фитоценологические особенности, характерные для лесов с преобладанием ели и определяющие их строение и динамику, описаны во многих работах [1–10].

Закономерности строения и динамики древостоев рассмотрены в трудах Н.В. Третьякова, К.К. Высоцкого, Ю.П. Демакова и др. [11–13].

Смене пород посвящены работы Г.Ф. Морозова, М.Е. Ткаченко, И.С. Мелехова, В.Я. Колданова, К.Б. Лосицкого, В.С. Чуенкова, С.А. Денисова и многих других лесоводов [14–18].

Ключевой фактор антропогенного воздействия на подмосковные леса — это рост народонаселения. Согласно результатам первой переписи города Москвы (1871), численность населения составляла немногим более 600 тыс. чел. [19]. На протяжении всего XX и в начале XXI вв. наблюдался рост численности населения Московского региона (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

### Динамика численности населения Москвы и Московской области

#### Population dynamics in Moscow and the Moscow region

Год	Численность населения (тыс. чел.)		Доля общей численности населения РФ, %		
	Москва	Московская обл.	Москва	Московская обл.	Москва и Московская обл.
1926	2101	2587	2,3	2,8	5,1
1939	4609	4188	4,3	3,9	8,2
1959	6134	4816	5,2	4,1	9,3
1970	7148	5611	5,5	4,3	9,8
1979	8057	6208	5,9	4,5	10,4
1989	8876	6646	6,0	4,5	10,9
2002	10383	6619	7,2	4,6	11,8
2010	11468,3	7092,9	8,1	5,0	13,1
2017	12380,7	7423,4	8,4	5,0	13,4
2018	12500,1	7504,3	8,5	5,1	13,6
2020	12692,5	7687,6	8,7	5,2	13,9

Для изучения устойчивости лесов Национального парка (НП) «Лосиный остров» проанализированы данные 20-летних наблюдений на 60 постоянных пробных площадях (ППП). В НП «Угра» были заложены 74 ППП, в городских лесах Новой Москвы — 15, в Щелковском учебно-опытном лесхозе (ЩУОЛХ) — 41, на территории Клинско-Дмитровской гряды — 23 временные пробные площади (ВПП), в Орехово-Зуевском лесничестве — 8 ВПП (рис. 1, 2). Пробные площади представляют насаждения всех лесообразующих пород — от средневозрастных до перестойных. Размер пробных площадей — от 0,1 до 0,6 га, в зависимости от возраста и полноты древостоя. Закладка и повторные описания ППП проводились в соответствии с ОСТ 56-69–83 «Площади пробные лесоустойчивые», описание подростка и подлеска — в соответствии с «Общесоюзными

нормативами по таксации лесов» (1992), описание напочвенного покрова — по шкале Друде, с указанием обилия каждого вида [20–23].

В НП «Лосиный остров» сплошной переречет деревьев, описания подростка, подлеска и напочвенного покрова проводились каждые 5 лет начиная с 2009 г.

По типам условий местопрорастания ППП в Лосином острове распределяются следующим образом: С2 — 37 площадей, С3 — 18, В3 — 3, В2 — 2 площади. Большая часть ППП относится к сложным группам типов леса. Широкоотравные и мелкоотравные группы типов леса представлены 24 площадями каждая, леса кисличной группы — 10, черничной — 2 площадями.

Одним из критериев для оценки устойчивости была ранговая структура насаждений. Она оценивалась с использованием методических положений Н.В. Третьякова (1927), К.К. Высоцкого (1962). Показатель рангового строения древостоя имел вид  $\Delta D_{отн}$  [24].

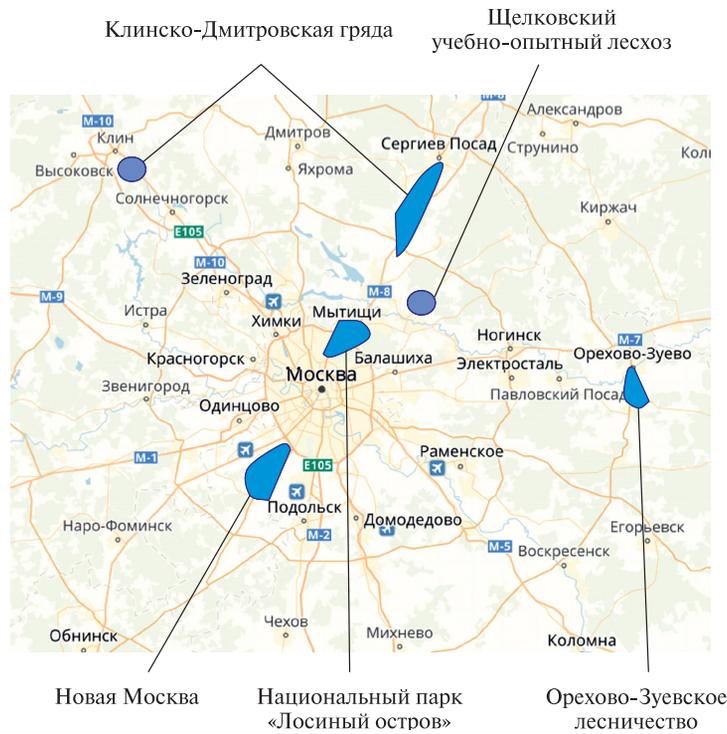
Расчеты показателя  $\Delta D_{отн}$  включают следующие процедуры:

- 1) построение ранжированного ряда по диаметрам от минимального до максимального;
- 2) разделение полученного ряда на 10 классов с одинаковым числом деревьев в классе;
- 3) определение среднего диаметра каждого класса —  $D_{cp}(n)$ ;
- 4) определение относительного диаметра каждого класса путем вычисления отношения среднего диаметра каждого класса к среднему диаметру в шестом классе:  $D_{отн}(n) = D_{cp}(n) / D_{cp}(6)$ ;
- 5) вычисление  $\Delta D_{отн}$  путем вычитания величины относительного диаметра первого класса из величины относительного диаметра десятого класса  $\Delta D_{отн} = D_{отн}(10) - D_{отн}(1)$ .

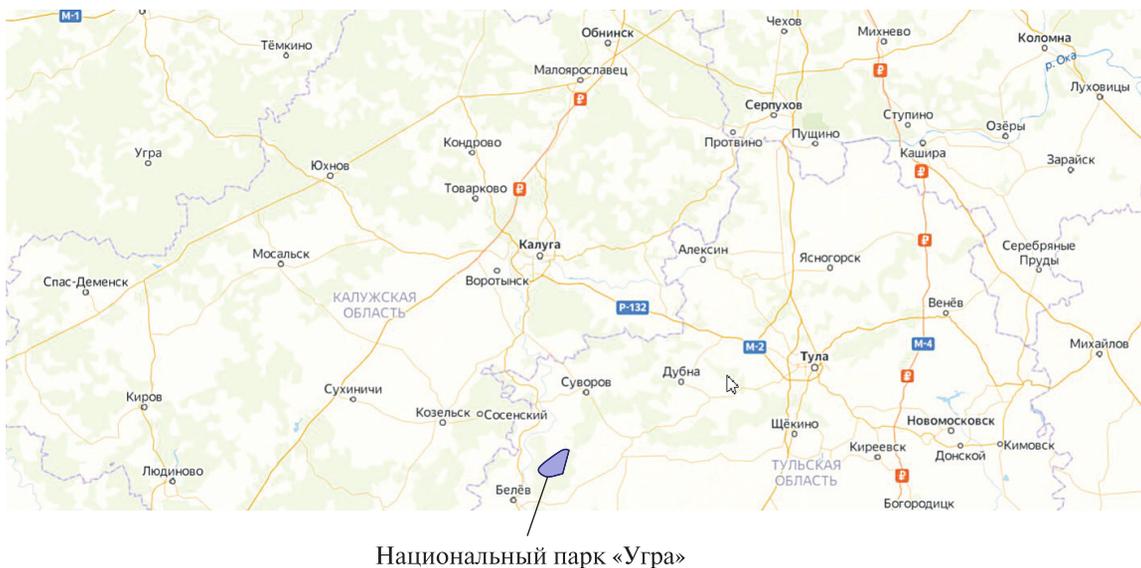
### Результаты и обсуждение

В ходе исследований было проведено сравнение показателей ранговой структуры ельников ЩУОЛХ и НП «Лосиный остров». Больше варьирование рядов распределения по диаметрам отмечено в «Лосином острове», чем в ЩУОЛХ, что объясняется смешанным характером и более сложным строением древостоев в национальном парке (в ЩУОЛХ для исследования были подобраны чистые одновозрастные ельники). Как правило, показатель  $\Delta D_{отн}$  для элемента леса в молодом возрасте достаточно высок и имеет тенденцию к уменьшению с возрастом.

Говоря об использовании показателя рангового строения древостоя  $\Delta D_{отн}$  как интегрального показателя структуры насаждений, можно отметить, что для условий НП «Лосиный остров» и ЩУОЛХ для приспевающих и спелых насаждений выявляются следующие пороговые значения.



**Рис. 1.** Карта с расположением объектов в Московском регионе  
**Fig. 1.** Map with the location of objects in the Moscow region



**Рис. 2.** Карта с расположением объектов в национальном парке «Угра»  
**Fig. 2.** Map with the location of objects in the national park «Ugra»

Если  $\Delta D_{отн}$  ниже 1,0, то искусственные насаждения или же леса многократными низовыми рубками приведены в состояние с предельно упрощенной структурой. Значения от 1,0 до 1,3 показывают условно разновозрастные леса с преобладанием деревьев старших возрастов, или, наоборот, со вторым ярусом ели, развивающимся под пологом других пород и представленным деревьями двух смежных классов возраста. Зна-

чения свыше 1,3 свидетельствуют о способности лесов, в которых численно преобладают более молодые деревья, обеспечить динамическую устойчивость своей породы. Данные о возрасте модельных деревьев позволили получить представление о возрастной структуре популяций ели европейской на ПП, использовать ее как критерий жизнеспособности и сопоставить их с проанализированной ранее структурой по диаметру.

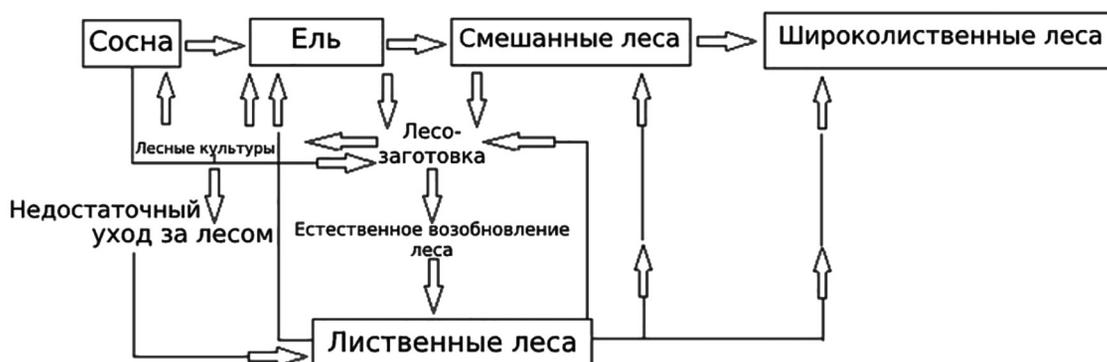


Рис. 3. Направления смены пород в лесных массивах Подмосквья  
 Fig. 3. Directions of the species change in the Moscow region forests

Т а б л и ц а 2

**Выращивание стандартного посадочного материала (тыс. шт.) и закладка лесных культур (га) в период 2014–2016 гг.**

**Cultivation of standard planting material (thousand pcs.) and laying out forest plantations (ha) in the period 2014–2016**

Порода	2014		2015		2016	
	Закладка лесных культур, га	Выращивание стандартного посадочного материала, тыс. шт.	Закладка лесных культур, га	Выращивание стандартного посадочного материала, тыс. шт.	Закладка лесных культур, га	Выращивание стандартного посадочного материала, тыс. шт.
Сосна	3408,3	4788,0	3509,5	3353,5	5302,4	5232,3
Ель	2702,7	4060,1	3255,4	2909,3	3963,3	1099,0
Лиственница	–	–	–	8,0	–	8,0
Дуб	1,5	249,0	26,4	227,3	6,7	17,7
Другие	–	–	–	30,1	–	15,3
Всего	6112,5	9097,1	6791,3	6528,2	9272,4	6372,3

Т а б л и ц а 3

**Выращивание стандартного посадочного материала (тыс. шт.) и закладка лесных культур (га) в период 2018–2019 гг.**

**Cultivation of standard planting material (thousand pcs.) and laying out forest plantations (ha) in the period 2018–2019**

Порода	2018		2019	
	Закладка лесных культур, га	Выращивание стандартного посадочного материала, тыс. шт.	Закладка лесных культур, га	Выращивание стандартного посадочного материала, тыс. шт.
Сосна	2035,19	10760,43	1484,0	9166,4
Ель	2086,53	5280,09	1549,0	7056,6
Лиственница	–	–	–	–
Дуб	1,40	0,6	3,2	597,7
Другие	–	0,99	–	28,997
Всего	4123,12	16042,1	3036,2	16849,7

Структура по диаметру не всегда соответствует возрастной структуре насаждения. В ценопопуляции может присутствовать часть экземпляров, отличающихся замедленным ростом, более долговечная, чем деревья, развивающиеся оптимально. Господствующие и прегосподствующие деревья растут быстро, но столь же быстро выпадают. В итоге в насаждении сохраняется часть старшего поколения, отличающаяся замедленным ростом. Наши наблюдения вполне подтверждают выводы специалистов, работавших в лесах Северного Подмосквья: «Чем быстрее растет лес, тем скорее наступает период его разрушения» [7, с. 281]. Структура древостоев по возрасту и диаметру во многом определяется густотой древостоя и смешением пород и наиболее выровнена в чистых высокополнотных лесах. Оптимальная структура по диаметру формируется при доле ели в количестве 3–7 единиц.

В настоящее время потеря ельниками Подмосквья устойчивости и невозможность выполнения ими в старших возрастах защитных и рекреационных функций — одна из самых актуальных проблем лесоводства и лесопользования в регионе.

Наши наблюдения на ППП в НП «Лосиный остров» показали, что при естественном развитии лесных биоценозов только на единичных объектах состав новых поколений леса близок к породному составу первого яруса. На подавляющем большинстве ППП происходит смена пород.

В некоторых случаях имеет место восстановление условно коренных растительных формаций. Однако в остальных случаях развитие идет в сторону широколиственных лесов с преобладанием липы. Та же тенденция к смене хвойных лесов липовыми выражена в насаждениях, где еловая часть древостоя погибла от короеда-типографа. Как на месте распавшихся ельников, так и под пологом сохранившихся формируется новое поколение леса, представленное лиственными породами с незначительным или единичным участием ели. При развитии биоценоза в стабильных условиях смена породного состава лесов ближнего Подмосковья осуществляется по следующей схеме (рис. 3).

Увеличение объемов лесокультурных работ и, как следствие, возросшая потребность в посадочном материале связаны с резким увеличением финансирования лесного хозяйства Московской области (начиная с 2013 г.), увеличением размеров сплошных санитарных рубок и лесовосстановлением на образовавшихся вырубках. Работа лесных питомников носит более инерционный характер, отсутствует возможность быстрого увеличения объема производства и расширения ассортимента посадочного материала. Однако реально выращиваемый ассортимент посадочного материала (табл. 2, 3) и создание чистых по породному составу лесных культур не могут в полной мере соответствовать предъявленным требованиям.

Результаты исследования позволяют рекомендовать при выполнении работ по лесовосстановлению в лесопарковых и зеленых зонах Подмосковья использование древесных и кустарниковых пород, отличающихся большой долговечностью, высокими эстетическими качествами, декоративностью, устойчивостью к неблагоприятным антропогенным и техногенным факторам, особенно к значительным рекреационным нагрузкам. Необходимо предусмотреть возможность создания смешанных культур, включающую в себя комплекс работ по расширению ассортимента питомников, использование технологий создания смешанных искусственных насаждений и последующего ухода за ними в целях формирования устойчивых насаждений, как правило, со сложной формой и структурой.

Полученные нами данные позволяют ставить одной из задач лесопользования в еловых лесах формирование смешанных насаждений с долей

ели 30...50 %. Более высокая доля может быть приемлемой на небольших участках (1...2 га). Следует избегать сомнительной практики массового создания монодоминантных еловых культур.

## Список литературы

- [1] Сукачев В.Н. Руководство к исследованию типов леса. М.; Л.: Сельхозгиз, 1931. 328 с.
- [2] Тимофеев В.П. Отмирание ели в связи с недостатком влаги // Лесное хозяйство, 1939. № 9. С. 6–15.
- [3] Воропанов П.В. Ельники севера. М.: Гослесбумиздат, 1950. 180 с.
- [4] Манько Ю.И. Пихтово-еловые леса Северного Сихотэ-Алиня. Л.: Наука, 1967. 224 с.
- [5] Карпов В.Г. Экспериментальная фитоценология темнохвойной тайги. Л.: Наука, 1969. 335 с.
- [6] Казимиров Н.И. Ельники Карелии. Л.: Наука, 1971. 140 с.
- [7] Леса Северного Подмосковья / С.П. Речан, Т.В. Малышева, А.В. Абагуров, П.Н. Меланхолин / Отв. ред. Л.П. Рысин. М.: Наука, 1993. 315 с.
- [8] Schmidt-Vogt H. Struktur und dynamik naturlicher Fichtenwalder in der borealen Nadelwaldzone // Sweiz. Z. Forstwes., 1985, bd. 136, no. 12, pp. 977–994.
- [9] Mäkinen H., Nöjd P., Mielikäinen K. Climatic signal in annual growth variation in damaged and healthy stands of Norway spruce [*Picea abies* (L.) Karst.] in southern Finland // Trees, 2001, t. 15, no. 3, pp. 177–185.
- [10] Thuille A., Schulze E.D. Carbon dynamics in successional and afforested spruce stands in Thuringia and the Alps // Global change biology, 2006, t. 12, no. 2, pp. 325–342.
- [11] Третьяков Н.В. Закон единства в строении насаждений. Л.: Новая деревня, 1927, 113 p.
- [12] Высоцкий К.К. Закономерности строения смешанных древостоев. М.: Гослесбумиздат, 1962. 177 с.
- [13] Демаков Ю.П. Диагностика устойчивости лесных экосистем (методологические и методические аспекты). Йошкар-Ола: Периодика Марий Эл, 2000. 414 с.
- [14] Морозов Г.Ф. Рубки возобновления и ухода. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1930. 86 с.
- [15] Ткаченко М.Е. Общее лесоводство. М.; Л.: Гослестехиздат, 1939. 746 с.
- [16] Колданов В.Я. Смена пород и лесовосстановление. М.: Лесная пром-сть, 1966. 171 с.
- [17] Лосицкий К.Б., Чуенков В.С. Эталонные леса. М.: Лесная пром-сть, 1980. 160 с.
- [18] Денисов С.А. Лесоведение. Смена пород. Йошкар-Ола: Изд-во МарГТУ, 1999. 77 с.
- [19] Денисенко М.Б., Степанова А.В. Динамика численности населения Москвы за 140 лет // Вестник Московского университета. Серия 6. Экономика, 2013. № 3. С. 88–97.
- [20] Коротков С.А., Киселева В.В., Стоноженко Л.В., Иванов С.К., Найденова Е.В. О направлениях лесобразовательного процесса в северо-восточном Подмосковье // Лесотехнический журнал, 2015. № 5 (4). С. 41–54.
- [21] Стоноженко Л.В., Коротков С.А., Грищенко В.А. Возобновление под пологом леса в национальном парке «Угра» // Лесохозяйственная информация, 2018. № 2. С. 35–45.
- [22] Kiseleva V., Korotkov S., Naidenova E., Stonozhenko L. Structure and regeneration of spruce forests as affected by forest management practices in the Moscow Region // Earth and Environmental Science, 2019, v. 226, no. 1, p. 012042.
- [23] Kiseleva V., Stonozhenko L., Korotkov S. The dynamics of forest species composition in the Eastern Moscow Region // Folia Forestalia Polonica, 2020, v. 62, no. 2, pp. 53–67.
- [24] Коротков С.А. Особенности формирования ельников в условиях антропогенного стресса (на примере лесов Клиско-Дмитровской гряды): дис. ... канд. биол. наук. Москва, 1998. 23 с.

## Сведения об авторах

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

**Дробышев Юлий Иванович** — канд. биол. наук, ст. науч. сотр. Института проблем экологии и эволюции имени А.Н. Северцова РАН, monexp@mail.ru

Поступила в редакцию 22.04.2021.

Принята к публикации 31.05.2021.

## DYNAMICS OF PROTECTIVE SPRUCE STANDS IN MOSCOW REGION

S.A. Korotkov<sup>1,2</sup>, Yu. I. Drobyshev<sup>3</sup>

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

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

<sup>3</sup>Institute of Ecology and Evolution of the Russian Academy of Sciences, named after academician A.N. Severtsov, 33, Leninsky Prospekt, 119071, Moscow, Russia

skorotkov@mgul.ac.ru

The results of dynamic processes occurring in recent decades in the forests of the Moscow region containing spruce and caused by both climate changes and increasing anthropogenic influence are presented. It is demonstrated that the spruce stands in modern conditions are unstable to droughts and outbreaks of insect pests, and in the future they will also be dynamically unstable and tend to decay. The situation is even more complicated due to the ban on continuous logging in the protective forests of the Moscow region and the widespread distribution of monocultures here, which, moreover, continue to be created even now. It is established that the structure of stands by age and diameter is largely determined by the density of the stand and the mixing of species, and is most aligned in pure high-field forests, and the optimal structure in diameter is formed with a proportion of spruce trees of 3–7 units. As a result of long-term observations on permanent sample areas in «Losiny Ostrov», it was revealed that with the natural development of forest communities, the composition of new forest generations is extremely rarely close to the composition of the first tier. In most cases, the development goes towards broad-leaved forests with a predominance of linden. The same tendency to replace coniferous forests with linden forests is shown for plantings where the spruce part of the stand was lost due to the bark beetle. Both on the site of the decayed spruce forests and under the canopy of the preserved ones, a new generation of forest is formed, represented by hardwoods with a small or single participation of spruce. It is recommended to form mixed stands in the spruce forests of the Moscow region with a proportion of spruce of 30...50 %, while a higher proportion of spruce may be acceptable only in small areas (1–2 ha). At the same time, the mass creation of monodominant spruce crops should be avoided.

**Keywords:** spruce, Moscow region, structure of forest stands, change of species, monocultures

**Suggested citation:** Korotkov S.A., Drobyshev Yu.I. *Dinamika nasazhdeniy s uchastiem eli v zashchitnykh lesakh Podmoskov'ya* [Dynamics of protective spruce stands in Moscow region]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 4, pp. 27–33. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-4-27-33

## References

- [1] Sukachev V.N. *Rukovodstvo k issledovaniyu tipov lesa* [A guide to the study of forest types]. Moscow–Leningrad: Selkhozgiz, 1931, 328 p.
- [2] Timofeev V.P. *Otmiranie eli v svyazi s nedostatkom vlagi* [Dying off of spruce due to lack of moisture]. *Lesnoe khozyaystvo [Forestry]*, 1939, no. 9, pp. 6–15.
- [3] Voropanov P.V. *El' niki severa* [Spruce forests of the north]. Moscow: Goslesbumizdat, 1950, 180 p.
- [4] Man'ko Yu.I. *Pikhtovo-elovye lesa severnogo Sikhote-Alinya* [Fir-spruce forests of the northern Sikhote-Alin]. Leningrad: Nauka, 1967, 224 p.
- [5] Karpov V.G. *Eksperimental'naya fitotsenologiya temnokhvoynoy taygi* [Experimental phytocenology of the dark coniferous taiga]. Leningrad: Nauka. Leningradskoe otdelenie [Science. Leningrad branch], 1969, 335 p.
- [6] Kazimirov N.I. *El' niki Karelii* [Spruce forests of Karelia]. Leningrad: Nauka. Leningradskoe otdelenie [Science. Leningrad branch], 1971, 140 p.
- [7] *Lesy Severnogo Podmoskov'ya* [Forests of the Northern Moscow Region] / S.P. Rechan, T.V. Malysheva, A.V. Abaturov, P.N. Melancholin / Ed. by L.P. Rysin. Moscow: Nauka, 1993. 315 p.
- [8] Schmidt-Vogt H. Struktur und dynamik naturlicher Fichtenwalder in der borealen Nadelwaldzone // *Sweiz. Z. Forstwes.*, 1985, bd. 136, no. 12, pp. 977–994.
- [9] Mäkinen H., Nöjd P., Mielikäinen K. Climatic signal in annual growth variation in damaged and healthy stands of Norway spruce [*Picea abies* (L.) Karst.] In southern Finland // *Trees*, 2001, t. 15, no. 3, pp. 177–185.
- [10] Thuille A., Schulze E.D. Carbon dynamics in successional and afforested spruce stands in Thuringia and the Alps. *Global change biology*, 2006, t. 12, no. 2, pp. 325–342.
- [11] Tret'yakov N.V. *Zakon edinstva v stroenii nasazhdeniy* [The law of unity in the structure of plantations]. Leningrad: New village, 1927, 113 p.

- [12] Vysotskiy K.K. *Zakonomernosti stroeniya smeshannykh drevostoev* [Regularities of the structure of mixed forest stands]. Moscow: Goslesbumizdat, 1962, 177 p.
- [13] Demakov Yu.P. *Diagnostika ustoychivosti lesnykh ekosistem (metodologicheskie i metodicheskie aspekty)* [Diagnostics of the sustainability of forest ecosystems (methodological and methodological aspects)]. Yoshkar-Ola: Mari El periodicals, 2000, 414 p.
- [14] Morozov G.F. *Rubki vozobnovleniya i ukhoda* [Renewal and maintenance fellings]. Moscow–Leningrad: Goslesbumizdat, 1930, 86 p.
- [15] Tkachenko M.E. *Obshchee lesovodstvo* [General forestry]. Moscow–Leningrad: Goslestekhizdat, 1939, 746 p.
- [16] Koldanov V.Ya. *Smena porod i lesvosstanovlenie* [Breed change and reforestation]. Moscow: Lesnaya promyshlennost, 1966, 171 p.
- [17] Lositskiy K.B., Chuenkov V.S. *Etalonnye lesa* [Reference scaffolding]. Moscow: Timber industry [Lesnaya promyshlennost’], 1980, 160 p.
- [18] Denisov S.A. *Lesovedenie. Smena porod* [Forestry. Change of breeds]. Yoshkar-Ola: MarSTU, 1999, 77 p.
- [19] Denisenko M.B., Stepanova A.V. *Dinamika chislennosti naseleniya Moskvy za 140 let* [Dynamics of the population of Moscow for 140 years]. Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 6. Ekonomika [Bulletin of Moscow University. Series 6. Economics], 2013, no. 3, pp. 88–97.
- [20] Korotkov S.A., Kiseleva V.V., Stonozhenko L.V., Ivanov S.K., Naydenova E.V. *O napravleniyakh lesobrazovatel’nogo protsessa v severo-vostochnom Podmoskov’e* [On the directions of the forest formation process in the northeastern Moscow region]. Lesotekhnicheskii zhurnal [Forestry journal], 2015, no. 5 (4), pp. 41–54.
- [21] Stonozhenko L.V., Korotkov S.A., Grishenkov V.A. *Vozobnovlenie pod pologom lesa v natsional’nom parke «Ugra»* [Renewal under the forest canopy in the Ugra National Park]. Lesokhozyaystvennaya informatsiya [Forestry Information], 2018, no. 2, pp. 35–45.
- [22] Kiseleva V., Korotkov S., Naidenova E., Stonozhenko L. Structure and regeneration of spruce forests as affected by forest management practices in the Moscow Region. Earth and Environmental Science, 2019, v. 226, no. 1, p. 012042.
- [23] Kiseleva V., Stonozhenko L., Korotkov S. The dynamics of forest species composition in the Eastern Moscow Region. Folia Forestalia Polonica, 2020, v. 62, no. 2, pp. 53–67.
- [24] Korotkov S.A. *Osobennosti formirovaniya el’nikov v usloviyakh antropogenного stressa (na primere lesov Klinsko-Dmitrovskoy gryady)* [Features of the formation of spruce forests under anthropogenic stress (on the example of the forests of the Klinsko-Dmitrovskaya ridge)]. Dis. ... Cand. Sci. (Biol.). Moscow, 1998, 23 p.

## Authors’ information

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

**Drobyshev Yuli Ivanovich** — Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher, IPEE RAS, monexp@mail.ru

Received 22.04.2021.

Accepted for publication 31.05.2021.

## СОСТОЯНИЕ ЕЛОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ В РАЙОНЕ ЮЖНОТАЕЖНЫХ ЛЕСОВ ТАЕЖНОЙ ЗОНЫ В УДМУРТСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ

И.Л. Бухарина<sup>1</sup>, А.С. Пашкова<sup>1</sup>, Д.Н. Удалов<sup>2</sup>,  
М.Н. Старков<sup>3</sup>, О.А. Светлакова<sup>3</sup>, О.А. Белоусова<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Удмуртской Республики, 426051, Удмуртская Республика, г. Ижевск, ул. Максима Горького, д. 73

<sup>3</sup>ФГБОУ ВО «Ижевская государственная сельскохозяйственная академия», 426069, Удмуртская Республика, г. Ижевск, ул. Студенческая, д. 11

buharin@udmlink.ru

Представлены результаты изучения состояния хвойных насаждений и описания древостоев в районе южнотаежных лесов таежной зоны в пределах Удмуртской Республики (на территории Якшур-Бодьинского, Игринского и Кезского лесничеств). Приведены климатические показатели года исследования в сравнении со среднемноголетними данными по изучаемым районам. Дана таксационная характеристика древостоев, представлены показатели морфологического профиля, влажности, целлюлозоразлагающей активности лесной подстилки. Исследования показали, что целлюлозоразлагающая активность лесной подстилки зависит от ее влажности, что связано со значениями абсолютных полнот древостоев на исследуемых пробных площадях. На пробных площадях в Игринском лесничестве различий по показателю целлюлозоразлагающей активности не установлено. Определены самые высокие значения этого показателя на пробной площади № 1 в Кезском лесничестве. Наиболее низкие значения целлюлозоразлагающей активности лесной подстилки отмечены на пробных площадях № 1 и № 3 в Якшур-Бодьинском лесничестве. Выполнен анализ физиолого-биохимических показателей ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) и проведено их сравнение у особей хорошего и удовлетворительного жизненного состояния, не показавшее статистически достоверных различий в содержании хлорофиллов и каротиноидов в хвое. Установлено существенно высокое содержание фотосинтетических пигментов и танинов в хвое ели сибирской на пробных площадях в Игринском лесничестве. Получены аналогичные результаты и для особей удовлетворительного жизненного состояния, за исключением содержания танинов в хвое. Установлено, что высокое содержание хлорофилла а в хвое ели сибирской, как правило, сопровождается повышенным содержанием танинов и низкой концентрацией аскорбиновой кислоты. Показано, что в целом потенциал особей ели сибирской, связанный с биохимическим уровнем формирования адаптивных реакций, наиболее высок у растений в северных районах республики, т. е. в районах с более экстремальными условиями произрастания. Получены материалы, на основе которых можно осуществлять разработку программы мониторинга насаждений и восстановления лесных древостоев.

**Ключевые слова:** адаптация, еловые насаждения, фотосинтетические пигменты, хвоя, танины, древостой

**Ссылка для цитирования:** Бухарина И.Л., Пашкова А.С., Удалов Д.Н., Старков М.Н., Светлакова О.А., Белоусова О.А. Состояние еловых насаждений в районе южнотаежных лесов таежной зоны в Удмуртской Республике // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 4. С. 34–43. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-4-34-43

Темнохвойные леса с преобладанием ели (*Picea*) в древесном ярусе произрастают в умеренном поясе Северного полушария и занимают значительную часть территории Европы, Азии и Северной Америки. В России еловые леса широко распространены — от западных границ до восточных — и формируют облик ландшафта таежной зоны. Резкое сокращение площади темнохвойных бореальных лесов в европейской части России и прогноз лесопатологической ситуации в связи с ослаблением и заражением вредителями оставшихся лесов, безусловно, оказывают негативное влияние на развитие всей лесной отрасли [1], угрожает целостности лесных экосистем, влечет за собой уничтожение мест обитания организмов, а также вызывает развитие насекомых-вредителей и болезней древостоя.

Таким образом, проблема сохранения еловых насаждений и совершенствование экологических приемов их восстановления имеет существенное

значение для экономики и экологии не только Удмуртской Республики, но и Российской Федерации в целом. К тому же на состояние хвойных насаждений воздействуют крупные промышленные центры, расположенные вблизи от них. Однако несмотря на наличие комплекса негативных факторов, отдельные виды и отдельные особи древесных растений проявляют высокий адаптивный потенциал, что представляет большой интерес в изучении адаптивных реакций и генетического разнообразия особей растений.

В настоящее время приобрело актуальность изучение состояния лесной подстилки в еловых насаждениях, подверженных комплексному усыханию и повреждению короедом-типографом, поскольку лесная подстилка в лесном биогеоценозе имеет весьма большое значение. Она является не только продуктом леса и его компонентом, но и фактором, определяющим состояние леса. Особенности и свойства лесной подстилки влияют

на процесс почвообразования, естественное возобновление леса, смену пород и другие процессы. От мощности лесной подстилки зависят рост и продуктивность древостоя. Она влияет на такие компоненты лесного биогеоценоза, как его физические, химические и биологические свойства, на водный режим почв, и их защиту от эрозии. Лесная подстилка обеспечивает жизнедеятельность некоторых видов почвенной фауны, микроорганизмов, является одним из основных источников диоксида углерода, азота, имеет важное значение в биологическом круговороте веществ и энергии [2].

В настоящем исследовании анализ влияния комплекса факторов окружающей среды на растение проводился на основании биохимических особенностей побегов ели — по содержанию в хвое и побегах фотосинтетических пигментов, аскорбиновой кислоты и танинов.

В системе адаптивных реакций растений фотосинтетические пигменты выполняют значимую роль. Например, содержание и соотношение пигментов является показателем стрессоустойчивости. При водном дефиците, высоких температурах воздуха содержание суммы хлорофиллов *a* и *b* уменьшается до 40 % [3–6]. Одна из возможных причин этого заключается в сокращении размера клеток листа в условиях водного дефицита, т. е. происходит увеличение количества клеток на единицу площади (или массы) [7]. Засуха подавляет интенсивность фотосинтеза растений, вызывая изменения в содержании хлорофилла и повреждения фотосинтетического аппарата [8–12].

В формировании адаптации к стрессовым факторам важно наличие веществ с антиоксидантными свойствами, к которым относится аскорбиновая кислота, участвующая в ферментативной деятельности растения. Аскорбиновая кислота влияет на активность имеющихся ферментов или изменяет скорость их синтеза [9]. Некоторые научные исследования направлены на определение участия аскорбиновой кислоты в формировании иммунной системы растений. В частности, ее интенсивная выработка считается одним из проявлений активного иммунитета растений, т. е. представляет собой ответную реакцию растений на многие их поражения посредством усиленного биосинтеза аскорбиновой кислоты. Аскорбиновая кислота играет важную роль и в фотосинтезе, особенно в стабилизации фотосинтетического аппарата, повышая фотохимическую активность растений. Она замедляет свободное радикальное окисление, поэтому в условиях действия кислых газов и тяжелых металлов, большинство из которых активные радикалы-окислители, повышается расход аскорбиновой кислоты на их инактивацию [13].

Существенно значение танинов в формировании устойчивости древесных насаждений. На их содержание в листьях влияет степень техногенной нагрузки и особенности климатических условий вегетационного периода. Кроме того, конденсированные танины являются активными участниками адаптационных процессов у древесных растений в условиях техногенного стресса, высоких температур воздуха. Конденсированные танины (проантоцианидины) представляют собой сложные флавоноидные полимеры. Гидролизуемые и конденсированные танины — это химические соединения, обладающие высокой окислительно-восстановительной реактивностью и хорошими лигандами для многих ионов металлов [14, 15]. Содержание танинов обуславливает устойчивость растений к различным видам ксилофагов, снижает их выживаемость и плодовитость [16].

## Цель работы

Цель работы — исследование состояния насаждений и физиолого-биохимических особенностей ели сибирской, произрастающей в пределах Удмуртской Республики.

## Материалы и методы

Исследования проведены на территории Якшур-Бодьинского, Игринского и Кезского лесничеств в таежной (бореальной зоне южнотаежных лесов) зоне Удмуртской Республики. Объект исследования — хвойные насаждения ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.).

Для реализации цели исследований были применены методы, используемые в молекулярной биологии, физиологии растений, лесоведении, почвоведении, экологии.

Для оценки таксационных параметров и состояния еловых насаждений заложены пробные площади (ПП) размером 100×100 м на территории трех исследуемых лесничеств. В каждом лесничестве — по одной ПП в древостоях с преобладанием ели, в местах их активного усыхания и в различных типах леса.

По жизненному состоянию древесные растения были подразделены на три группы: 1) хорошего состояния (крона густая или слегка изрежена, хвоя зеленая/светло-зеленая; отдельные ветви засохли); 2) удовлетворительного (крона ажурная; хвоя светло-зеленая, матовая; прирост ослабленный, менее половины обычного); 3) неудовлетворительного (усыхание ветвей до 50 %; наличие на стволе механических повреждений, обнаружение признаков первичного повреждения ксилофагами и/или дереворазрушающими грибами).

Анализ лесной подстилки проводили на учетных площадках 10×10 см с помощью шаблона

в количестве 10 шт. на одну ПП (в итоге сформировалось 10 индивидуальных проб) с разделением на фракции и слои [17]. Активность деструкторов лесной подстилки определялась путем анализа на целлюлозоразлагающую активность [18].

Для изучения биохимических особенностей побегов и хвои отбирали по пять модельных особей хорошего и удовлетворительного жизненного состояния на каждой ПП. Модельные особи имели средневозрастное генеративное онтогенетическое состояние ( $g_2$ ). С модельных особей отбирали и формировали смешанные образцы, из которых готовили пробы для проведения анализов в трех- и четырехкратном повторении. Для анализов провели отбор побегов текущего года вегетации. Анализ содержания фотосинтетических пигментов в хвое провели спектрофотометрическим методом в спиртовых экстрактах с использованием спектрофотометра ПЭ-5400УФ; расчет концентрации пигментов — по уравнениям Холма — Веттштейна. Содержание аскорбиновой кислоты определяли по ГОСТ 24556–89 (титриметрический метод), содержание танинов спектрофотометрически — при длине волны 277 нм [19, 20].

## Результаты и обсуждение

Климат Удмуртии умеренно континентальный с продолжительной холодной и многоснежной зимой, теплым летом и хорошо выраженными весной и осенью. Однако значительная протяженность территории с севера на юг и неодно-

родность ее рельефа обуславливают существенные различия между северной и южной частями республики по температуре и влажности воздуха, ветровому режиму, количеству осадков и продолжительности солнечного сияния. Удмуртия расположена в пределах двух ландшафтных зон: таежной (бореальной) и подтаежной (бореально-суббореальной). Условная граница между указанными зонами проходит по линии Вавож — Нылга — Ижевск — Воткинск. Зональная граница практически полностью совпадает с северной границей ареала дуба и лещины [21]. Особенность этой границы — в ее совпадении с северным краем Кильмезского эолового песчаного покрова. Кезское, Игринское и Якшур-Бодьинское лесничества расположены в районе южнотаежных лесов таежной зоны европейской части Российской Федерации [22, 23].

Рассматриваемая южнотаежная зона лесов отличается умеренно холодным влажным климатом. Среднегодовая температура воздуха составляет от +4 °С до +7–16 °С. Продолжительность вегетационного периода — 120–180 дней, суммарное количество осадков — от 200 до 300 мм во внутренних районах. Растительность — темнохвойные леса с примесью широколиственных пород (дуба, клена, ясеня, липы). К тому же 2020 г. Отличился некоторыми климатическими особенностями, зафиксированными в Якшур-Бодьинском, Игринском и Кезском районах Удмуртской Республики.

Т а б л и ц а 1

### Сравнение климатических показателей 2020 г. со среднемноголетними показателями по Якшур-Бодьинскому району

Comparison of climatic indicators in 2020 with average annual indicators for Yakshur-Bodinsky district

Показатель	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
Средняя температура воздуха, °С	-14,4	-12,7	-5,9	3,6	11,6	16,3	18,7	16,1	9,9	2,1	-5,3	-11,1
Минимальная температура воздуха, °С	-18,2	-16,7	-10,1	-0,8	5,7	10,5	13,1	10,7	5,5	-0,9	-8	-14,5
Максимальная температура воздуха, °С	-10,5	-8,6	-1,6	8,1	17,5	22,2	24,3	21,5	14,4	5,1	-2,5	-7,6
Температура воздуха 2020 г., °С	-5,0	-4,0	4,0	7,0	18,0	19,0	25,0	20,0	15,0	8,0	-4,0	-11
Разница между температурой воздуха 2020 г. и средней многолетней, °С	9,4	8,7	9,9	3,4	6,4	2,7	6,3	3,9	5,1	5,9	1,3	0,1
Количество осадков, мм	38	28	27	32	41	61	71	64	58	55	47	40

Т а б л и ц а 2

**Сравнение климатических показателей 2020 г. со среднемноголетними показателями по Игринскому району**  
**Comparison of climatic indicators in 2020 with average annual indicators for Igrinsky District**

Показатель	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
Средняя температура воздуха, °С	-14,9	-13,1	-6,2	3	10,9	15,8	18,2	15,5	9,4	1,5	-5,9	-11,5
Минимальная температура воздуха, °С	-18,6	-17	-10,4	-1,4	5,1	10	12,7	10,2	5,1	-1,4	-8,6	-14,9
Максимальная температура воздуха, °С	-11,1	-9,1	-1,9	7,4	1,7	21,6	23,7	20,8	13,7	4,4	-3,1	-8,1
Температура воздуха 2020 г., °С	-5,0	-4,0	3,0	6,0	17,0	18,0	24,0	19,0	15,0	7,0	-4,0	-11
Разница между температурой воздуха 2020 г. и средней многолетней, °С	9,9	9,1	9,2	3,0	6,1	2,2	5,8	3,5	5,6	5,5	1,9	0,5
Количество осадков, мм	40	28	28	35	45	65	75	66	60	58	49	41

Т а б л и ц а 3

**Сравнение климатических показателей 2020 г. со среднемноголетними показателями по Кезскому району**  
**Comparison of climatic indicators in 2020 with average annual indicators for Kez district**

Показатель	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
Средняя температура воздуха, °С	-14,9	-13,1	-6	3	10,8	15,7	18,3	15,5	9,3	1,5	-5,9	-11,5
Минимальная температура воздуха, °С	-18,6	-17	-10,3	-1,5	5	10	12,8	10,3	5,1	-1,3	-8,6	-14,9
Максимальная температура воздуха, °С	-11,2	-9,1	-1,7	7,5	16,6	21,5	23,8	20,7	13,6	4,3	-3,1	-8,1
Температура воздуха 2020 г., °С	-6,0	-4,0	3,0	6,0	17,0	18,0	24,0	19,0	15,0	7,0	-5,0	-11
Разница между температурой воздуха 2020 г. и средней многолетней, °С	8,9	9,1	9,0	3,0	6,2	2,3	5,7	3,5	5,7	5,5	0,9	0,5
Количество осадков, мм	41	28	28	35	46	67	75	68	61	60	51	42

Якшур-Бодьинское лесничество расположено на отметке 159 м н. у. м., климат умеренно холодный. Количество осадков значительное: осадки выпадают даже в засушливый период (среднегодовое количество осадков составляет 562 мм) [24, 25]. Этому климату присвоено обозначение Dfb

согласно классификации климатов Кёппена. Среднегодовая температура воздуха составляет 2,4 °С.

Модельные особи взяты в Якшур-Бодьинском лесничестве, на Мукшинском участке, кв. 62, выд. 17.

Т а б л и ц а 4

**Таксационная характеристика елового древостоя на пробных площадях  
Якшур-Бодьинского, Игринского и Кезского лесничества**

Taxation characteristics of spruce stand on test plots  
of Yakshur-Bodinsky, Igrinsky and Kezsky forestry

Лесничество	Номер пробной площади	Состав древостоя	Средние значения			Запас древесины, м <sup>3</sup> /га	Полнота, м <sup>2</sup> /га		Бонитет
			возраст, лет	высота ствола, м	диаметр ствола, см		абсолютная	относительная	
Якшур-Бодьинское	1	7Е1П1Б1Ос	77	18	22,2	109,1	3,3	0,2	II
	2	9Е1Ос+П	74	23	26,8	191,2	8,3	0,5	II
	3	8Е2П	74	21	30,8	375	2,4	0,8	I
Игринское	1	8Е2П	69	19	22,9	182,2	2,9	0,5	II
	2	9Е1П	70	19	23,9	27,7	1,7	0,7	II
	3	8Е2П	64	20	21,9	222,1	2,2	0,6	I
Кезское	1	8Е2П	62	19	21,1	196,6	2,0	0,6	II
	2	9Е1П	63	21	21,4	225,9	2,2	0,6	I
	3	8Е2П	65	21	22,3	213,	1,9	0,5	I

Т а б л и ц а 5

**Показатели массы, влажности и содержания  
сухого вещества в лесной подстилке  
ельников кисличников Якшур-Бодьинского,  
Игринского и Кезского лесничеств**

Indicators of mass, moisture and dry matter content  
in the forest litter of spruce woodlands  
of Yakshur-Bodinsky, Igrinsky and Kezsky forestries

Лесничество	Номер пробной площади	Масса, г	Влажность, %	Содержание сухого вещества, %
Якшур-Бодьинское	1	1756,038	31,8 ± 7,9* 12,3...51,5**	68,2
	2	716,818	38,2 ± 2,9 31,1...45,5	61,8
	3	1077,561	29,2 ± 1,2 27,4...31,0	70,8
Игринское	1	1009,474	59,4 ± 0,9 57,29...61,59	40,6
	2	717,397	32,73 ± 7,7 13,54...51,9	67,3
	3	581,892	43,2 ± 6,8 32,4...54,0	56,8
Кезское	1	1988,520	54,9 ± 3,4 49,5...60,3	45,1
	2	1621,460	64,3 ± 1,2 62,5...66,2	35,7
	3	472,23	33,8 ± 2,1 30,5...37,2	66,2

\*Среднее значение показателя ± стандартное отклонение;  
\*\*доверительный интервал для среднего значения при P < 0,05; жирным шрифтом выделены значения, имеющие достоверные отличия (аналогично для табл. 6, 7).

Игринское лесничество расположено на отметке 238 м н. у. м. и характеризуется умеренно холодным климатом. Количество осадков значительное, даже в засушливый период. Климат по классификации Кёппена обозначен как Dfb. Среднегодовая температура воздуха составляет 1,9 °С. За год выпадает около 590 мм осадков [24, 25].

Модельные особи взяты в Игринском лесничестве на Зуринском участке, кв. 110, выд. 14.

Кезское лесничество расположено на отметке 204 м н. у. м. Климат умеренно холодный. Количество осадков значительное, среднегодовое количество — 602 мм [24, 25]. Согласно классификации климата Кёппена этому климату присвоено обозначение Dfb. Среднегодовая температура воздуха 1,9 °С.

Модельные особи взяты в Кезском лесничестве на Кулигинском участке, кв. 113, выд. 30.

По данным табл. 1–3, температура воздуха в 2020 г. в целом была выше среднемесячных значений по Якшур-Бодьинскому, Игринскому и Кезскому районам, но не превышала 10 °С (в наиболее холодные месяцы года). Таким образом, опасных для роста растений аномалий в вегетационный период не наблюдалось.

В табл. 4 приведена таксационная характеристика елового древостоя на исследуемых ПП. Насаждения одновозрастные, I и II бонитета, наибольшие показатели абсолютной полноты характерны для ПП Якшур-Бодьинского лесничества.

Анализ показателей влажности лесной подстилки (табл. 5) показал, что на ПП № 1 и ПП № 3 в Якшур-Бодьинском лесничестве достоверные различия не выявлены. Особые условия были характерны для ПП № 2 с самыми высокими

Т а б л и ц а 6

**Компонентный состав и целлюлозоразлагающая активность лесной подстилки в еловых насаждениях Якшур-Бодьинского, Игринского и Кезского лесничеств**

**Component composition and cellulose-decomposing activity of forest litter in spruce stands of Yakshur-Bodyinsky, Igrinsky and Kezsky forestries**

Лесничество	Номер пробной площади	Целлюлозо-разлагающая активность, %	Морфологический облик лесной подстилки (масса слоев, г)		
			$L (A_0^I)$	$F (A_0^{II})$	$H (A_0^{III})$
Якшур-Бодьинское	1	60,83 ± 8,07* 48,00...73,67**	174,72 ± 39,42 111,98...237,45	75,47 ± 10,37 58,97...91,97	838,38 ± 60,98 686,89...989,88
	2	42,49 ± 2,05 39,23...45,75	126,45 ± 18,22 97,46...155,45	141,53 ± 25,06 101,66...181,40	195,38 ± 44,41 85,06...305,71
	3	28,08 ± 4,13 25,11...33,93	77,18 ± 20,43 44,67...109,70	37,54 ± 11,74 18,86...56,23	656,69 ± 30,26 608,53...704,86
Игринское	1	24,56 ± 2,46 18,46...30,66	40,51 ± 6,97 29,42...51,60	46,07 ± 18,05 17,35...74,79	313,15 ± 3,16 305,31...320,99
	2	48,88 ± 9,00 34,55...63,12	110,29 ± 25,38 69,91...150,67	90,36 ± 26,40 48,35...132,37	281,95 ± 22,34 226,45...337,45
	3	30,28 ± 8,62 23,67...42,46	187,21 ± 9,84 171,55...202,86	45,93 ± 7,57 33,86...57,98	106,21 ± 19,90 74,54...137,88
Кезское	1	86,76 ± 4,23 80,03...93,49	249,75 ± 23,43 212,42...287,09	150,54 ± 25,10 110,60...190,48	495,93 ± 23,70 458,21...533,64
	2	56,61 ± 1,42 54,35...58,87	242,14 ± 36,82 183,55...300,73	103,16 ± 28,93 57,13...149,18	233,23 ± 14,37 210,37...256,09
	3	53,00 ± 12,03 36,98...66,00	108,65 ± 44,62 37,65...179,65	97,29 ± 12,25 77,79...116,78	129,28 ± 25,30 89,01...169,54

Т а б л и ц а 7

**Содержание физиолого-биохимических показателей ели сибирской Якшур-Бодьинского, Игринского и Кезского лесничеств**

**The content of physiological and biochemical parameters of Siberian spruce in Yakshur-Bodyinsky, Igrinsky and Kezsky forestries**

Лесничество	Жизненное состояние растений	Содержание фотосинтетических пигментов в хвое, мг/г				Содержание аскорбиновой кислоты, мг/100 г	Содержание дубильных веществ, %	
		хлорофилл <i>a</i>	хлорофилл <i>b</i>	каротиноиды	стрессоустойчивость, <i>a + b</i>		хвоя	стеблевая часть
Якшур-Бодьинское	Хорошее	<b>4,21 ± 0,35*</b> 3,65...4,76**	0,55 ± 0,07 0,45...0,66	1,71 ± 0,16 1,45...1,96	4,76 ± 0,42 4,10...5,42	214,90 ± 29,57 167,85...261,95	4,48 ± 0,18 4,19...4,77	<b>3,10 ± 0,21</b> 2,78...3,43
	Удовлетворительное	3,35 ± 1,47 1,01...5,69	0,54 ± 0,11 0,36...0,72	1,37 ± 0,62 0,38...2,36	4,82 ± 1,42 2,55...7,08	260,21 ± 17,54 232,30...288,12	4,09 ± 0,76 2,88...5,30	<b>2,24 ± 0,34</b> 1,70...2,77
Игринское	Хорошее	<b>6,97 ± 0,07</b> 6,86...7,07	<b>1,29 ± 0,06</b> 1,20...1,38	<b>2,68 ± 0,06</b> 2,58...2,77	<b>8,26 ± 0,01</b> 8,24...8,27	<b>151,21 ± 7,66</b> 139,02...163,39	<b>6,62 ± 0,22</b> 6,27...6,98	<b>1,76 ± 0,11</b> 1,58...1,94
	Удовлетворительное	<b>5,82 ± 0,37</b> 5,24...6,40	<b>0,95 ± 0,08</b> 0,83...1,08	<b>2,34 ± 0,16</b> 2,08...2,58	<b>6,77 ± 0,44</b> 6,07...7,48	<b>129,31 ± 2,70</b> 125,01...133,61	<b>5,12 ± 0,35</b> 4,57...5,67	<b>2,27 ± 0,07</b> 2,17...2,38
Кезское	Хорошее	4,06 ± 0,28 3,63...4,50	0,68 ± 0,05 0,60...0,76	1,82 ± 0,11 1,64...2,00	4,74 ± 0,33 4,22...5,26	240,07 ± 19,57 208,93...271,21	4,69 ± 0,30 4,21...5,16	2,59 ± 0,52 1,76...3,42
	Удовлетворительное	4,69 ± 0,63 3,69...5,69	0,89 ± 0,06 0,78...0,99	2,07 ± 0,17 1,81...2,34	5,58 ± 0,63 4,58...6,58	286,49 ± 13,25 265,40...307,58	5,39 ± 0,35 4,83...5,95	2,38 ± 0,56 1,49...3,28

показателями абсолютной полноты древостоя, достоверно более высокими показателями влажности лесной подстилки и, как следствие, наименьшими показателями ее массы. В Игринском лесничестве достоверные отличия по массе и влажности лесной

подстилки (достоверно более высокие показатели) отмечены на ПП № 1, которая в этом лесничестве имеет самые высокие показатели абсолютной полноты древостоя. Аналогичные результаты получены для ПП № 1 и ПП № 2 Кезского лесничества.

По лесничествам и ПП установлены достоверные различия морфологического профиля лесной подстилки (табл. 6). В Якшур-Бодьинском лесничестве слой  $L(A_0)$  на разных ПП не имел различий, однако ПП отличались по массе слоя  $F(A_0)$  в частности на ПП № 3 отмечены самые низкие значения. Самые высокие показатели массы слоя  $F(A_0)$  и самые низкие показатели массы слоя —  $H(A_0)$  имела ПП № 2. В Игринском лесничестве на ПП № 3 в морфологическом профиле лесной подстилки отмечен самый высокий показатель массы слоя  $L(A_0)$  и самый низкий показатель для  $H(A_0)$ . В Кезском лесничестве на ПП № 3, для которой характерен самый низкий показатель массы лесной подстилки, отмечены также и самые низкие показатели массы ее морфологических слоев  $L(A_0)$  и  $H(A_0)$ . Следует отметить, что на большинстве ПП всех лесничеств в морфологическом профиле лесной подстилки наибольшая масса была у нижнего слоя  $H(A_0)$ , за исключением ПП № 2 (Якшур-Бодьинское лесничество) и ПП № 3 (Игринское лесничество). Также получены данные анализа целлюлозоразлагающей активности (ЦРА) лесной подстилки (см. табл. 6).

Якшур-Бодьинское лесничество отличается низкими показателями ЦРА на ПП № 2 и ПП № 3. В Игринском лесничестве различий по данному показателю между ПП не установлено. Самые высокие показатели ЦРА характерны для ПП № 1 Кезского лесничества, при этом здесь установлены одни из самых низких показателей абсолютной плотности древостоя ( $1,9 \text{ м}^2/\text{га}$ ) и самый высокий показатель массы лесной подстилки. Влажность лесной подстилки составила 54,9 %.

Результаты проведенных биохимических анализов побега ели сибирской представлены в табл. 7. При сравнении показателей содержания фотосинтетических пигментов у особей хорошего и удовлетворительного жизненного состояния в разных лесничествах установлено, что статистически достоверных различий в содержании хлорофилла  $a$  и  $b$  и каротиноидов не выявлено. Исключение составляют особи различного жизненного состояния с пробных ПП Игринского лесничества, где у особей удовлетворительного жизненного состояния содержание фотосинтетических пигментов существенно ниже, чем у особей хорошего жизненного состояния, а также у всех особей ели отмечен высокий показатель стрессоустойчивости (сумма хлорофиллов  $a$  и  $b$ ). Аналогичные результаты были получены и по содержанию аскорбиновой кислоты в хвое.

## Выводы

Особь хорошего жизненного состояния, произрастающие в исследуемых лесничествах, по показателям содержания фотосинтетических пигментов и танинов в хвое существенно отличаются в Игринском лесничестве — они досто-

верно выше. Аналогичные результаты получены и для особей удовлетворительного жизненного состояния, за исключением содержания танинов в хвое. Отметим, также, что показатели содержания хлорофиллов и каротиноидов особей удовлетворительного жизненного состояния в Игринском лесничестве достоверно превысили показатели особей хорошего жизненного состояния в Кезском и Якшур-Бодьинском лесничествах.

Содержание аскорбиновой кислоты в хвое, наоборот, имело самые низкие показатели в Игринском лесничестве, достоверно отличающиеся от показателей в Кезском с наибольшим содержанием аскорбиновой кислоты и Якшур-Бодьинском лесничествах у особей обоих жизненных состояний. Можно полагать, что аскорбиновая кислота в значительной степени участвовала в окислительно-восстановительных процессах растений Игринского лесничества, что позволило им сохранить целостность хлорофиллов и фотосинтетического аппарата.

Достоверно более высокое содержание дубильных веществ (танинов) в хвое также отмечено в Игринском лесничестве, но лишь у особей хорошего жизненного состояния. Наибольшие концентрации танинов в стеблевой части побега отмечены у особей хорошего жизненного состояния в Якшур-Бодьинском лесничестве, у особей удовлетворительного жизненного состояния — в Кезском. Результаты анализов содержания танинов показали способность особей перераспределять танины в побегах. Например, особи ели сибирской хорошего жизненного состояния в Игринском лесничестве имели самую высокую концентрацию танинов в хвое по сравнению с особями из других лесничеств, и самую низкую концентрацию танинов в стеблевой части побега.

Выявлены особенности ели сибирской, связанные с содержанием хлорофилла  $a$ , танинов и аскорбиновой кислоты в хвое: высокое содержание хлорофилла сопровождается и высоким содержанием танинов, при этом у этих особей отмечено достоверное более низкое содержание аскорбиновой кислоты в хвое.

В целом можно отметить, что потенциал особей ели сибирской, связанный с формированием адаптивных реакций на биохимическом уровне, максимален у растений более северных районов республики, отличающихся повышенными экстремальными условиями произрастания.

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

## Список литературы

- [1] Краткий обзор санитарного и лесопатологического состояния лесов Удмуртской Республики за 2013 год и прогноз лесопатологической ситуации на 2014 год. Ижевск: Изд-во ФБУ «Рослесозащита», 2014. 44 с.

- [2] Бухарина И.Л., Светлакова О.А., Конопкова А., Леднева О.С., Абсалямов Р.Р. Состояние лесной подстилки в еловых насаждениях Республики Удмуртия // АгроЭкоИнфо, 2019, № 3 (37). С. 35.
- [3] Akram M.S., Ashraf M. Exogenous application of potassium dihydrogen phosphate can alleviate the adverse effects of salt stress on sunflower (*Helianthus annuus* L.) // J. Plant Nutr., 2011, no. 34, pp. 1041–1057.
- [4] Din J., Khan S.U., Ali I., Gurmani A.R. Physiological and agronomic response of canola varieties to drought stress // J. Anim. Plant Sci., 2011, v. 21, pp. 78–82.
- [5] Gomathi R., Rakkiyapan P. Comparative lipid peroxidation, leaf membrane thermostability, and antioxidant system in four sugarcane genotypes differing in salt tolerance // Int. J. Plant Physiol. Biochem., 2011, no. 3, pp. 67–74.
- [6] Salwa M.A., Heba I.M. Alleviation of adverse effects of drought stress on common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) by exogenous application of hydrogen peroxide // Bangladesh J. Bot., 2011, v. 41(1), pp. 75–83.
- [7] Сайдаминов Х.Х., Маниязова Н.А., Атоев М.Х., Абдуллаев А. Содержание хлорофилла у некоторых бобовых культур в условиях почвенной засухи // Доклады Академии наук Республики Таджикистан, 2016. Т. 59. № 9–10. С. 428–433.
- [8] Anjum S.A., Xie X., Wang L. et al. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress // Afr. J. Agr. Res., 2011, no. 6, pp. 2026–2032.
- [9] Ashraf M., Harris P.J.C. Photosynthesis under stressful environments // An overview - Photosynthetica, 2013, v. 51(2), pp. 163–190.
- [10] Kannan N.D., Kulandaivelu G. Drought induced changes in physiological, biochemical and phytochemical properties of *Withania somnifera* Dun. // J. Med. Plants Res., 2011, v. 5, pp. 3929–3935.
- [11] Reda F., Mandoura H.M.H. Response of enzymes activities, photosynthetic pigments, proline to low or high temperature stressed wheat plant (*Triticum aestivum* L.) in the presence or absence of exogenous proline or cysteine // Int. J. Acad. Res., 2011, v. 3, pp. 108–115.
- [12] Velikova V., Sharkey T.D., Loreto F. Stabilization of thylakoid membranes in isoprene-emitting plants reduces formation of reactive oxygen species // Plant Signal. Behav., 2012, v. 7, pp. 139–141.
- [13] Olkhovych O., Volkogon M., Taran N., Batsmanova L., Kravchenko I. The Effect of Copper And Zinc Nanoparticles on the Growth Parameters, Contents of Ascorbic Acid, and Qualitative Composition of Amino Acids and Acylcarnitines in *Pistia stratiotes* L. (Araceae) // Nanoscale Research Letters, 2016, v. 11, p. 218.
- [14] Бухарина И.Л., Кузьмина А.М., Кузьмин П.А. Особенности содержания танинов в листьях древесных растений в техногенной среде // Химия растительного сырья, 2015. № 4. С. 71–76.
- [15] Gowda J.H., Palo R.T., Udén P. Seasonal variation in the nutritional value of woody plants along a natural gradient in Eastern Africa // Afr J Ecol., 2019, v. 57, pp. 226–237.
- [16] Ведерников К.Е., Загребин Е.А., Бухарина И.Л. Особенности биохимического состава древесины ели в насаждениях, подверженных усыханию, в хвойно-широколиственной зоне европейской части России // Лесной вестник // Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 4. С. 33–42.
- [17] Почвы. Методы определения влажности, максимальной гигроскопической влажности и влажности устойчивого завядания растений. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200023556> (дата обращения 15.01.2021).
- [18] Круглов Ю.В., Курдюков Ю.Ф., Шубитидзе Г.В. Микробиологическая активность чернозема южного в зависимости от агротехнических приемов в засушливой степи Нижнего Поволжья // Аграрный научный журнал, 2018. № 1. С. 20–23.
- [19] Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения витамина С. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200022765> (дата обращения 15.01.2021).
- [20] Оболенская А.В., Ельницкая З.П., Леонович А.А. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы. М.: Экология, 1991. 320 с.
- [21] География Удмуртии: природные условия и ресурсы Ч.1 / под ред. И.И. Рысина. Ижевск: Удмуртский университет, 2009. 256 с.
- [22] Лесохозяйственные регламенты Якшур-Бодьинского, Игринского, Кезского лесничеств. URL: [http://www.minpriroda-udm.ru/index.php?option=com\\_content&view=article&id=126&Itemid=233](http://www.minpriroda-udm.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=126&Itemid=233) (дата обращения 15.01.2021).
- [23] Вахрушев К.В., Абсалямов Р.Р. Лесной комплекс Удмуртской Республики: состояние, проблемы, перспективы развития лесных отношений // Леса Евразии — Леса Поволжья. Материалы XVII Междунар. конф. молодых ученых, посвященной 150-летию со дня рождения профессора Г.Ф. Морозова, 95-летию Казанского государственного аграрного университета и Году экологии в России, Казань, 22–28 октября 2017 г. М.: Изд-во ИПЦ «Маска», 2017. С. 34–38.
- [24] Архив погоды в мире. URL: <https://world-weather.ru> (дата обращения 15.01.2021).
- [25] Климатические данные городов по всему миру. URL: <https://ru.climate-data.org> (дата обращения 15.01.2021).

## Сведения об авторах

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

**Пашкова Анна Сергеевна** — канд. биол. наук, науч. сотр. ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет», elena7108@yandex.ru

**Удалов Денис Николаевич** — министр природных ресурсов и охраны окружающей среды Удмуртской Республики, mail@mpr.udmr.ru

**Старков Максим Николаевич** — аспирант кафедры лесоустройства и экологии ФГБОУ ВО «Ижевская ГСХА», starkov\_max@bk.ru

**Светлакова Олеся Алексеевна** — аспирант кафедры лесоустройства и экологии ФГБОУ ВО «Ижевская ГСХА», olesiasvet@mail.ru

**Белюсова Ольга Анатольевна** — студентка магистратуры кафедры инженерной защиты окружающей среды ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет», oktlov@mail.ru

Поступила в редакцию 15.03.2021.

Принята к публикации 20.05.2021.

## STATE OF SPRUCE STANDS IN SOUTHERN TAIGA FORESTS IN UDMURT REPUBLIC TAIGA ZONE

I.L. Bukharina<sup>1</sup>, A.S. Pashkova<sup>1</sup>, D.N. Udalov<sup>2</sup>,  
M.N. Starkov<sup>3</sup>, O.A. Svetlakova<sup>3</sup>, O.A. Belousova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Udmurt State University, 1, Universitetskaya st., 426034, Izhevsk, Udmurt Republic, Russia

<sup>2</sup>Ministry of Natural Resources and Environmental Protection of the Udmurt Republic, 73, M. Gorkogo st., 426051, Izhevsk, Udmurt Republic, Russia

<sup>3</sup>Izhevsk State Agricultural Academy, 11, Studencheskaya st., 426069, Izhevsk, Udmurt Republic, Russia

buharin@udmlink.ru

The study results of coniferous stands and the description of stands in the southern taiga forests of the taiga zone within the Udmurt Republic (on the territory of the Yakshur-Bodya, Igrinsky and Kez forest districts) are presented. The climatic indicators of the study year are presented in comparison with the average long-term data for the studied areas. The taxational characteristics of forest stands are given, the indicators of the morphological profile, humidity, and cellulose-decomposing activity of forest litter are presented. Studies have shown that the cellulose-decomposing activity of forest litter depends on its moisture content, which is associated with the values of the basal area per hectare of stands in the studied sample areas. No differences in the indicator of cellulose-decomposing activity were found in the sample areas in the Igrinsky forestry. The highest values of this indicator were determined in the sample area No. 1 in the Kez forestry. The lowest values of the cellulose-decomposing activity of forest litter were observed in the sample areas No. 1 and No. 3 in the Yakshur-Bodya forest area. The physiological and biochemical parameters of Siberian spruce (*Picea obovata* Ledeb.) were analyzed and compared in trees of good and satisfactory living conditions, which did not show statistically significant differences in the content of chlorophylls and carotenoids in the needles. A significantly high content of photosynthetic pigments and tannins in Siberian spruce conifers was found in the sample areas in the Igrinsky forest area. Similar results were obtained for individuals of a satisfactory living condition, with the exception of the content of tannins in conifers. It was found that the high content of chlorophyll a in Siberian spruce needles is usually accompanied by an increased content of tannins and a low concentration of ascorbic acid. It is shown that in general, the potential of Siberian spruce individuals associated with the biochemical level of the formation of adaptive reactions is highest in plants in the northern regions of the republic, i.e. in areas with more extreme growing conditions. Materials were obtained on the basis of which it is possible to develop a program for monitoring plantings and restoring forest stands.

**Keywords:** adaptation, spruce stands, photosynthetic pigments, needles, tannins, stand of trees

**Suggested citation:** Bukharina I.L., Pashkova A.S., Udalov D.N., Starkov M.N., Svetlakova O.A., Belousova O.A. *Sostoyaniye elovykh nasazhdeniy v rayone yuzhnotaеzhnykh lesov taеzhnoy zony v Udmurtskoy Respublike* [State of spruce stands in Southern Taiga forests in Udmurt Republic Taiga Zone]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 4, pp. 34–43. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-4-34-43

### References

- [1] *Kratkiy obzor sanitarnogo i lesopatologicheskogo sostoyaniya lesov Udmurtskoy Respubliki za 2013 god i prognoz lesopatologicheskoy situatsii na 2014 god* [A brief overview of the sanitary and forest pathological state of the forests of the Udmurt Republic in 2013 and the forecast of the forest pathological situation for 2014]. Izhevsk: Publishing House – FBU «Roslesozashchita», 2014, 44 p.
- [2] Bukharina I.L., Svetlakova O.A., Konopkova A., Ledneva O.S., Absalyamov R.R. *Sostoyaniye lesnoy podstilki v elovykh nasazhdeniyakh Respubliki Udmurtiya* [The state of forest litter in spruce plantations of the Republic of Udmurtia]. *AgroEkoInfo*, 2019, no. 3 (37), p. 35.
- [3] Akram M.S., Ashraf M. Exogenous application of potassium dihydrogen phosphate can alleviate the adverse effects of salt stress on sunflower (*Helianthus annuus* L.). *J. Plant Nutr.*, 2011, no. 34, pp. 1041–1057.
- [4] Din J., Khan S.U., Ali I., Gurmani A.R. Physiological and agronomic response of canola varieties to drought stress. *J. Anim. Plant Sci.*, 2011, v. 21, pp. 78–82.
- [5] Gomathi R., Rakkiyapan P. Comparative lipid peroxidation, leaf membrane thermostability, and antioxidant system in four sugarcane genotypes differing in salt tolerance. *Int. J. Plant Physiol. Biochem.*, 2011, no. 3, pp. 67–74.
- [6] Salwa M.A., Heba I.M. Alleviation of adverse effects of drought stress on common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) by exogenous application of hydrogen peroxide. *Bangladesh J. Bot.*, 2011, v. 41(1), pp. 75–83.
- [7] Saydaminov Kh.Kh., Maniyazova N.A., Atoev M.Kh., Abdullaev A. *Soderzhanie khlorofilla u nekotorykh bobovykh kul'tur v usloviyakh pochvennoy zasukhi* [Chlorophyll content in some legumes under conditions of soil drought]. *Doklady Akademii nauk Respubliki Tadzhikistan* [Reports of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan], 2016, v. 59, no. 9–10, pp. 428–433.
- [8] Anjum S.A., Xie X., Wang L. et al. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *Afr. J. Agr. Res.*, 2011, no. 6, pp. 2026–2032.
- [9] Ashraf M., Harris P.J.C. Photosynthesis under stressful environments. An overview- *Photosynthetica*, 2013, v. 51 (2), pp. 163–190.
- [10] Kannan N.D., Kulandaivelu G. Drought induced changes in physiological, biochemical and phytochemical properties of *Withania somnifera* Dun. *J. Med. Plants Res.*, 2011, v. 5, pp. 3929–3935.

- [11] Reda F., Mandoura H.M.H. Response of enzymes activities, photosynthetic pigments, proline to low or high temperature stressed wheat plant (*Triticum aestivum* L.) in the presence or absence of exogenous proline or cysteine. *Int. J. Acad. Res.*, 2011, v. 3, pp. 108–115.
- [12] Velikova V., Sharkey T.D., Loreto F. Stabilization of thylakoid membranes in isoprene-emitting plants reduces formation of reactive oxygen species. *Plant Signal. Behav.*, 2012, v. 7, pp. 139–141.
- [13] Olkhovych O., Volkogon M., Taran N., Batsmanova L., Kravchenko I. The Effect of Copper And Zinc Nanoparticles on the Growth Parameters, Contents of Ascorbic Acid, and Qualitative Composition of Amino Acids and Acylcarnitines in *Pistia stratiotes* L. (Araceae). *Nanoscale Research Letters*, 2016, v. 11, p. 218.
- [14] Bukharina I.L., Kuz'mina A.M., Kuz'min P.A. *Osobennosti sodержaniya taninov v list'yakh drevesnykh rasteniy v tekhnogennoy srede* [Features of the content of tannins in the leaves of woody plants in a technogenic environment]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of vegetable raw materials], 2015, no. 4, pp. 71–76.
- [15] Gowda J.H., Palo R.T., Udén P. Seasonal variation in the nutritional value of woody plants along a natural gradient in Eastern Africa. *Afr J Ecol.*, 2019, v. 57, pp. 226–237.
- [16] Vedernikov K.E., Zagrebina E.A., Buharina I.L. *Osobennosti biokhimicheskogo sostava drevesiny eli v nasazhdeniyakh, podverzhennykh usykhaniyu, v khvoynno-shirokolistvennoy zone evropeyskoy chasti Rossii* [Assessment of spruce stands in coniferous-broad-leaved zone in european part of Russia]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 4, pp. 33–42. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-4-33-42
- [17] *Pochvy. Metody opredeleniya vlazhnosti, maksimal'noy gigroskopicheskoy vlazhnosti i vlazhnosti ustoychivogo zavyadaniya rasteniy* [Soils. Methods for determination of moisture content, maximum hygroscopic moisture content and moisture content of sustainable plant wilting]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200023556> (accessed 15. 01.2021).
- [18] Kruglov Yu.V., Kurdyukov Yu.F., Shubitidze G.V. *Mikrobiologicheskaya aktivnost' chernozema yuzhnogo v zavisimosti ot agrotekhnicheskikh priemov v zasushlivoy stepi Nizhnego Povolzh'ya* [Microbiological activity of southern chernozem depending on agrotechnical methods in the arid steppe of the Lower Volga region]. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* [Agrarian scientific journal], 2018, no. 1, pp. 20–23.
- [19] *Produkty pererabotki plodov i ovoshchey. Metody opredeleniya vitamina C* [By-products of fruits and vegetables. Methods for the determination of vitamin C]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200022765> (accessed 15.01.2021).
- [20] Obolenskaya A.V., El'nitskaya Z.P., Leonovich A.A. *Laboratornye raboty po khimii drevesiny i tsellyulozy* [Laboratory work on the chemistry of wood and cellulose]. Moscow: Ecology, 1991, 320 p.
- [21] *Geografiya Udmurtii: prirodnye usloviya i resursy* [Geography of Udmurtia: natural conditions and resources]. V. 1. Ed. I.I. Rysin. Izhevsk: Ed. house «Udmurt University», 2009, 256 p.
- [22] *Lesokhozyaystvennyye reglamenty Yakshur-Bod'inskogo, Igrinskogo, Kezskogo lesnichestv* [Forestry regulations of Yakshur-Bodinsky, Igrinsky, Kezsky forestries]. Available at: [http://www.minpriroda-udm.ru/index.php?option=com\\_content&view=article&id=126&Itemid=233](http://www.minpriroda-udm.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=126&Itemid=233) (accessed 15. 01.2021).
- [23] Vakhrushev K.V., Absalyamov R.R. *Lesnoy kompleks Udmurtskoy Respubliki: sostoyanie, problemy, perspektivy razvitiya lesnykh otnosheniy* [Forestry complex of the Udmurt Republic: state, problems, prospects for the development of forest relations]. *Lesnaya Evrazii — Lesnaya Povolzh'ya. Materialy XVII Mezhdunar. konf. molodykh uchenykh, posvyashchennoy 150-letiyu so dnya rozhdeniya professora G.F. Morozova, 95-letiyu Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta i Godu ekologii v Rossii* [Eurasian Forests — Forests of the Volga Region: Materials of the XVII International Conference of Young Scientists, dedicated to the 150-th Anniversary of Professor G.F. Morozov, 95-th anniversary of Kazan State Agricultural University and to the Year of Ecology in Russia.], Kazan', 22–28 October 2017. Moscow: Publishing House — IPC «Maska», 2017, pp. 34–38.
- [24] *Arkhiv pogody v mire* [World Weather Archive]. Available at: <https://world-weather.ru> (accessed 15. 01.2021).
- [25] *Klimaticheskie dannye gorodov po vsemu miru* [Climate data for cities around the world]. Available at: <https://ru.climate-data.org> (accessed 15. 01.2021).

## Authors' information

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

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

**Udalov Denis Nikolaevich** — Minister of Natural Resources and Environmental Protection of the Udmurt Republic, mail@mpr.udmr.ru

**Starkov Maksim Nikolaevich** — Pg. student of the Department of Forest Management and Ecology of the Izhevsk State Agricultural Academy, starkov\_max@bk.ru

**Svetlakova Olesya Alekseevna** — Pg. student of the Department of Forest Management and Ecology of the Izhevsk State Agricultural Academy, olesiasvet@mail.ru

**Belousova Olga Anatolevna** — Master graduand of the Department of Environmental Engineering, Udmurt State University, okrlov@mail.ru

Received 15.03.2021.

Accepted for publication 20.05.2021.

УДК 575.17: 582.632.2

DOI: 10.18698/2542-1468-2021-4-44-51

## ОЦЕНКА ПОЛИМОРФИЗМА ДУБА ЧЕРЕШЧАТОГО (*QUERCUS ROBUR*) С ПОМОЩЬЮ SSR-АНАЛИЗА

Е.Е. Кулаков, Е.А. Воробьева, В.А. Сиволапов, Н.А. Карпеченко

ФБУ «Рослесозащита» — «ЦЗЛ Воронежской области», 394000, г. Воронеж, ул. Ломоносова, д. 105

evgenyukulakov@yandex.ru

Приведены результаты молекулярно-генетических исследований популяций дуба черешчатого из 11 регионов России. С использованием 10 микросателлитных праймеров было выявлено 1049 аллелей. Изученные выборки несущественно отличаются по наблюдаемому и эффективному числу аллелей. Для оценки генетической изменчивости популяций рассчитан показатель ожидаемой и наблюдаемой гетерозиготности, который указывает на дефицит гетерозиготных генотипов. Установлено, что каждое отдельное дерево в изученных популяциях обнаруживает 87 % дефицит гетерозигот относительно популяции и 85,7 % относительно вида. Отмечено, что среди всех изученных аллелей 81 % составили уникальные, причем они встречаются только в каком-либо одном локусе. На дендрограмме, построенной на основании генетического расстояния наблюдается кластеризация популяций дуба черешчатого в несколько отдельных групп.

**Ключевые слова:** дуб черешчатый, полиморфизм ДНК, SSR-маркеры, межпопуляционное разнообразие

**Ссылка для цитирования:** Кулаков Е.Е., Воробьева Е.А., Сиволапов В.А., Карпеченко Н.А. Оценка полиморфизма дуба черешчатого (*Quercus robur*) с помощью SSR-анализа // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 4. С. 44–51. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-4-44-51

Оценка биологического разнообразия лесных фитоценозов с помощью SSR-анализа имеет первостепенное значение для изучения и сохранения растительных ресурсов. В настоящее время важнейшими путями сохранения генофонда основных лесообразующих пород и выявления наиболее продуктивных и устойчивых популяций для воспроизводства видов являются оценка популяционной структуры и характер генетической изменчивости. В связи с этим актуальность приобретает анализ генетической структуры популяций дуба черешчатого с использованием SSR-маркеров для оценки популяционно-генетических параметров [1–4].

В настоящее время исследование количественных характеристик основных лесообразующих пород проводится с помощью ДНК-маркеров [5–8].

Для оценки полиморфизма в соответствии с современным уровнем развития науки требуются количественные оценки популяционно-генетических параметров с помощью молекулярно-генетических маркеров. [9]. При выборе типа исследования в первую очередь необходимо обратить внимание на возможность анализа степени генетического разнообразия структурных элементов генома.

Так, SSR-маркеры выявляют полиморфизм участков ДНК, заключенных между tandemно повторяющимися элементами — микросателлитами [10], и приобрели большую популярность для изучения генетического разнообразия ресурсных травянистых [11] и древесных видов растений [12–16] за счет легкого выделения и идентификации элементов генома.

SSR-маркеры позволяют проанализировать большую часть генома изучаемого вида, дать разностороннюю характеристику изучаемых генофондов и выявить их специфические особенности. Поэтому их применение позволяет изучать генофонды ресурсных видов лесообразующих пород, которые занимают обширные ареалы.

### Цель работы

Цель работы — изучение генетической изменчивости в популяциях дуба черешчатого, характеризующих широтный, долготный и высотный профили ареала вида.

### Материалы и методы

Объектом для изучения генетического разнообразия послужили 11 популяций дуба черешчатого (*Quercus robur*) из различных регионов России. Широкая географическая представленность дуба черешчатого в исследовании позволила выявить зависимость частоты аллелей полиморфных локусов от географического положения (табл. 1).

Оценка степени генетического разнообразия проводилась на базе лаборатории отдела мониторинга состояния лесных генетических ресурсов филиала ФБУ «Рослесозащита» — «ЦЗЛ Воронежской области». Образцы для ДН-анализа предоставлялись центрами защиты леса со всей России.

Для оценки генетического разнообразия культур дуба черешчатого нами использован метод SSR-анализа (Simple Sequence Repeats) [17], доказав свою высокую эффективность при изучении на уровне популяций [18–22]. Выделение ДНК проводили с помощью цетилтриметиламмония бромидом

Т а б л и ц а 1

**Происхождение анализируемых образцов, отобранных  
для молекулярно-генетического анализа**

**Origin of the analyzed samples taken for molecular genetic analysis**

Административно-территориальная единица	Лесничество	Участковое лесничество	Квартал	Выдел	Наименование выборки
Республика Адыгея	Майкопское	Курджинское	7	8	Дамк
Брянская обл.	Учебно-опытный лесхоз	–	–	–	Дбу
Волгоградская обл.	Калачеевское	–	–	–	Двк
Курская обл.	Курское	Бесединское	67	1	Дкб (Дккб)
Республика Башкортостан	Кугарчинское	Инянское	37	5	Дки (Дкки)
Самарская обл.	Кинельское	Красносамарское	27	20	Дкк (Дскк)
Республика Мордовия	Ельниковское	–	21	11	Дме
	Краснослободское	Краснослободское	27	20	Дмк (Дмкк)
Оренбургская обл.	Кувандыкское	–	–	–	Док
Пензенская обл.	Юровское	–	–	–	Дпюр (Дпю)
Саратовская обл.	Аткарское	Аткарское	70	10	Дса (Дсаа)

Т а б л и ц а 2

**Характеристика отобранных для работы ядерных  
микросателлитных локусов для видов дуба**

**Characteristics of selected for operation nuclear microsatellite loci for oak species**

Локус (праймер)	Последовательность	Число аллелей	Размеры ампликона, п. н.
QrZAG11	F: CCTGAACTCGAAGGTGTCCTT R: GTAGGTCAAACCATTTGGTTGACT	16	242–286
QrZAG39	F: CACCGCTGGAATTTAAGGGA R: GACCTAAGCCAAAGTGTGGGC	17	103–139
QrZAG96	F: CCCAGTCACATCCACTACTGTCC R: GGTGGGAAAAGGAGATCAGA	19	137–179
QrZAG112	F: TTCTTGCTTTGGTGC GCG R: GTGGTCAGAGACTCGGTAAGTATT	15	72–106
QrZAG110	F: GGAGGCTTCCTTCAACCTACT R: GATCTTTGTGTGCTGATTT	18	193–235
QrZAG5b	F: TGAAGAGTAAGACCATTACATCA R: GTATGTGAGTGTGTTGGTTGG	22	217–263
QrZAG7	F: CAACTTGGTGTTCGGATCAA R: GTGCAATTTCTTTATAGCATTCAC	21	109–152
QrZAG20	F: CCATTAAGAAGCAGTATTTGT R: GCAACACTCAGCCTATATCTAGAA	17	155–195
QrZAG65	F: CAGTGGTGTCAACTCCTCCCAG R: GTCAGGTGACCATTCAAACCTAGAA	27	249–306
QrZAG87	F: TCCCACCACTTTGGTCTCTCA R: GTTGTCAGCAGTGGGATGGGTA	18	101–141

СТАВ-методом [23] из вегетирующих частей, собранных в чистых культурах дуба черешчатого (*Quercus robur*) (30 образцов в каждой выборке).

Концентрацию ДНК измеряли с помощью прибора для измерения концентрации NanoPhotometer® P-Class P 330. Постановка полимеразной цепной реакции (ПЦР) для амплификации маркерных участков проводилась локусами QrZAG5b, QrZAG65, QrZAG112, QrZAG7, QrZAG87, QrZAG96, QrZAG39, QrZAG11, QrZAG20, QrZAG110 в пределах 56–64°C (табл. 2).

Детальный метод амплификации ДНК, электрофорез, окрашивание продуктов амплификации EtBr, анализ электрофореграмм, статистической обработки полученных данных приведены в других публикациях [24–25].

### Результаты и обсуждение

Молекулярно-генетический анализ образцов дуба черешчатого (*Quercus robur*) из Майкопского лесничества Республики Адыгея, по 10 локусам показал, что все исследуемые

Т а б л и ц а 3

Параметры генетической изменчивости популяций *Quercus robur*Parameters of *Quercus robur* populations genetic variability

Наименование выборки	Дамк	Дбу	Двк	Дккб	Дкки	Дскк	Дме	Дмкк	Док	Дпо	Дсаа
Число аллелей на локус	8,60	8,10	7,40	9,60	13,1	9,70	10,1	10,1	10,6	10,4	8,9
Эффективное число аллелей на локус	4,82	4,73	5,02	6,48	8,15	5,29	6,66	6,08	5,75	5,80	5,53
Индекс видового разнообразия Шеннона	1,72	1,71	1,61	1,99	2,09	1,83	1,87	1,87	1,85	1,89	1,75
Количество уникальных аллелей	0,40	0,60	0,20	1,00	1,80	0,50	0,60	1,00	1,50	0,50	0,50
Ожидаемая гетерозиготность	0,74	0,18	0,71	0,14	0,79	0,11	0,09	0,11	0,11	0,09	0,09
Наблюдаемая гетерозиготность	0,08	0,77	0,72	0,72	0,80	0,84	0,79	0,77	0,76	0,79	0,75
Индекс фиксации Райта	0,83	0,77	0,73	0,87	0,89	0,87	0,78	0,82	0,77	0,89	0,87

локусы полиморфные, по выявленным 4–13 аллелям. Наибольшее количество аллелей выявлено у локуса QrZAG39 — 13 аллелей, для QrZAG65, QrZAG7, QrZAG87, QrZAG11 характерно 10 аллелей, QrZAG112 — 9 аллелей. Менее информативными оказались локусы QrZAG96, QrZAG110, QrZAG5b, QrZAG20, у которых выявлено 7, 5, 4 аллели соответственно. Анализ фрагментов из Кугарчинского лесничества Республики Башкортостан, показал высокую полиморфность локусов. Амплификация в ходе ПЦР позволила выявить наличие 139 локусов. Все выявленные локусы характеризовались числом аллелей от 3 (QrZAG96) до 24 (QrZAG39). Для образцов из Волгоградской обл. Калачеевского лесничества число аллелей изменялось от 1 (QrZAG96) до 11 (QrZAG87, QrZAG11), был выявлен мономорфный локус QrZAG96.

Образцы из Бесединского лесничества Курской обл., Кинельского лесничества Самарской области показали высокий полиморфизм. У локусов QrZAG65, QrZAG5b, QrZAG87, QrZAG96, QrZAG110 выявлено 10 аллелей, у QrZAG112, QrZAG20, QrZAG1 — 9 аллелей, QrZAG39 — 8 аллелей. Анализ дуба черешчатого (*Quercus robur*) из государственного казенного учреждения Республики Мордовия (ГКУ РМ) Краснослободского территориального лесничества Ельниковского (Дме) и Краснобродского (Дмкк) участковых лесничеств Республики Мордовия по 10 локусам показал, что локусы QrZAG5b, QrZAG65, QrZAG112, QrZAG7, QrZAG87, QrZAG39, QrZAG11, QrZAG20, QrZAG110 полиморфны, QrZAG96 — мономорфный, у популяции представленной из Ельниковского лесничества. Анализ образцов из Кувандыкского

лесничества Оренбургской обл. позволил выявить в изученных выборках наличие 105 локусов, из Юровского лесничества Пензенской обл. обнаружено 104 амплифицированных фрагментов ДНК длиной от 72 до 276 п. н., из Аткарского лесничества Саратовской обл. выявлено 66 локусов. Параметры генетической изменчивости, рассчитанные по результатам микросателлитного анализа указаны в табл. 3.

Число аллелей, одновременно присутствующих в популяции для Дкки составляет 13,1, локусы Док, Дмк, Дме, Дпо характеризуются 10,3, менее информативными оказались Дккб, Дскк, Дсаа, Дбу, Дамк, Двк.

Средний показатель уровня полиморфности составил 5,846, в связи с чем исследуемые выборки были разделены на две группы: 1) локусы, которые имеют уровень полиморфности ниже среднего уровня — Дамк, Дбу, Двк, Дскк, Док, Дсаа, средний уровень полиморфности которых составил 5,190; 2) локусы, которые имеют уровень полиморфности выше среднего (Дккб, Дки, Дме, Дмкк, Дпо), значение которых составляет 6,634. Минимальным значением характеризуется образцы из Учебно-опытного лесхоза Брянской обл. — 4,731. Максимальный уровень полиморфности выявлен у образцов из Кугарчинского лесничества Республики Башкортостан, (8,15). Поскольку уровень полиморфности в популяции является показателем эффективно действующих в исследуемых популяциях аллелей, он взаимосвязан с числом аллелей каждой популяции.

Для детальной оценки генетической изменчивости популяций нами был рассчитан показатель ожидаемой и наблюдаемой гетерозиготности, который показывает уровень аллельного разнообразия.

Оценка по 10 локусам показала, что в среднем для всех исследуемых выборок значения составили 0,708 и 0,287. Сопоставление значений наблюдаемой и ожидаемой гетерозиготности показало, что во всех выборках наблюдается дефицит гетерозиготных генотипов. Из всех аллелей уникальные составили 81 %, причем они встречаются только в каком-либо одном локусе. Что касается минимальных значений уровня гетерозиготности, то недостаток гетерозигот наблюдается у образцов из Майкопского лесничества Республики Адыгея.

Мерой информативности как генетического маркера, по предложению Д. Ботштейна [26], принято считать значение содержания полиморфной информации PIC (Polymorphism Information Content). При  $PIC < 0,25$  локус считается не информативным, если  $0,25 > PIC > 0,5$ , то он относится к информативным, при  $PIC > 0,50$  весьма информативным. Таким образом, PIC выявляет дискриминационную способность маркера, зависит от числа установленных аллелей и распределения их частот, тем самым эквивалентен генетическому разнообразию. Нами был вычислен коэффициент информативной ценности по 10 локусам. Полученные результаты указывают на высокую информативность маркеров —  $PIC > 0,50$ .

Оценка межпопуляционного разнообразия проводилась на основе индекса видового разнообразия Шеннона  $I$ , который позволяет оценить видовое богатство культур дуба черешчатого (*Quercus robur*). Одним из преимуществ является его комплексность, видовая плотность и выравненность. Таким образом, появляется возможность дать оценку видового разнообразия каждой популяции в отдельности. Среднее значение индекса разнообразия Шеннона  $I$  для 11 регионов у биотипов дуба черешчатого по праймерам QrZAG5b, QrZAG65, QrZAG112, QrZAG7, QrZAG87, QrZAG96, QrZAG39, QrZAG11, QrZAG20, QrZAG110 составляет 1,839 нит/особь. Минимальное значение  $I$  выявлено у образцов дуба из Калачеевского лесничества Волгоградской области (1,617 нит/особь), максимальное — у образцов из Кугарчинского лесничества Республики Башкортостан (2,094 нит/особь). Полученные результаты указывают на высокое видовое разнообразие.

Использование  $F$ -статистики Райта и  $G$ -статистики Нея для исследованных культур дуба черешчатого (*Quercus robur*) из различных регионов России позволило определить значения скрещивания близкородственных форм в пределах одной популяции (инбридинг) особи относительно популяции, инбридинга особи относительно вида, а также доли межпопуляционного разнообразия ( $G_{ST}$ ). Установлено, что 91 % изменчивости приходится на межпопуляционную. Каждое отдель-

ное дерево в 11 регионах обнаруживает 87 % дефицита гетерозигот относительно популяции и 85,7 % относительно вида (рис. 1).

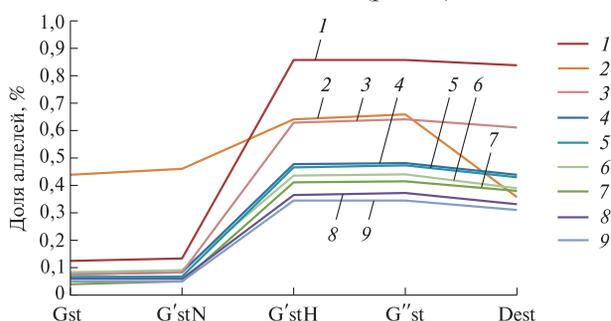


Рис. 1. Показатели  $G$ -статистики: 1 — QrZAG65; 2 — QrZAG96; 3 — QrZAG1; 4 — QrZAG5b; 5 — QrZAG87; 6 — QrZAG112; 7 — QrZAG20; 8 — QrZAG7; 9 — QrZAG39

Fig. 1.  $G$ -statistics indicators: 1 — QrZAG65; 2 — QrZAG96; 3 — QrZAG1; 4 — QrZAG5b; 5 — QrZAG87; 6 — QrZAG112; 7 — QrZAG20; 8 — QrZAG7; 9 — QrZAG39

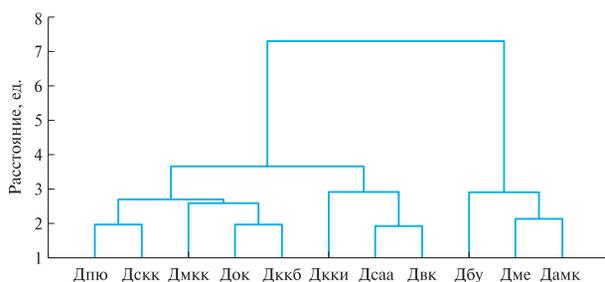


Рис. 2. Дендрограмма сходства популяций *Quercus robur*  
Fig. 2. *Quercus robur* population similarity dendrogram

Анализ подразделенности генетического разнообразия показал, что дуб черешчатый обладает высоким уровнем популяционного генетического разнообразия, низкой степенью дивергенции в пределах вида в изученной части ареала: 92,7 % всей генетической изменчивости приходилось на внутривидовую, лишь 9,3 % — приходится на межвыборочную составляющую.

Выявленный коэффициент изменчивости  $C$  характеризуется минимальной вариацией ( $C = 4,4$  %): локус QrZAG11 — 7,8 %, QrZAG39 — 4,2, QrZAG96 — 4,3, QrZAG112 — 4,6, QrZAG110 — 7,2, QrZAG5b — 7,6, QrZAG7 — 5,4, QrZAG20 — 8,1, QrZAG65 — 1,2 и QrZAG87 — 6,5.

Для оценки степени генетической дифференциации дуба черешчатого (*Quercus robur*) из Брянской, Саратовской, Волгоградской, Пензенской, Оренбургской, Курской областей, Республики Мордовии, Республики Адыгеи, Республики Башкортостан было рассчитано генетическое расстояние Нея ( $D$ ) между выборками. Дендрограмма сходства исследуемых популяций построена с помощью программного обеспечения Statistica 10.

На основании генетических расстояний Нея была построена дендрограмма, которая иллюстрирует дифференциацию популяций. Наибольшее генетическое расстояние установлено между образцами из Пензенской обл. и Республики Адыгея (рис. 2).

На дендрограмме, построенной на основании генетического расстояния наблюдается кластеризация исследуемых популяций в несколько отдельных групп. В изученной части популяции дуба черешчатого (*Quercus robur*) можно четко разделить на три группы. К первой группе относятся популяции из Брянской обл., Республики Мордовия, Республики Адыгея, ко второй — образцы из Республики Башкортостан, Саратовской и Волгоградской областей, к третьей — из Пензенской, Оренбургской, Курской областей. Важно отметить, все исследуемые выборки имеют сложную систему структурированности в пределах района исследования.

## Выводы

1. С использованием 10 SSR-праймеров в 11 исследованных выборках было выявлено более 1000 аллелей, среди которых 85 аллелей у образцов из Майкопского лесничества республики Адыгея; 81 аллель Учебно-опытного лесничества Брянской обл.; 74 аллели Калачеевского лесничества Волгоградской обл.; 96 аллелей у образцов из Бесединского лесничества Курской обл.; 129 аллелей у образцов из республики Башкортостан; 98 — у образцов из Кинельского лесничества Самарской обл.; 101 аллель выявлена у образцов из Государственного казенного учреждения Республики Мордовия (ГКУ РМ) Краснослободского и Ельниковского лесничеств; 105 аллелей — из выборки Кувандыкского лесничества Оренбургской обл.; 90 аллелей из Юровского лесничества Пензенской обл. и 89 аллелей у образцов из Аткарского лесничества Саратовской обл.

2. Причинами сравнительно высокого полиморфизма и генетического своеобразия дуба черешчатого (*Quercus robur*), обнаруженного с помощью SSR-анализа, могут быть особенности истории их формирования. Они могут представлять потомство мигрантов, распространившихся из рефугиумов и смешавшихся впоследствии с местными популяциями.

3. Изученные выборки несущественно отличаются по наблюдаемому и эффективному числу аллелей. Наблюдаемое число аллелей варьирует от 4,364 до 11,364. Эффективное число аллелей в исследуемых выборках — от 1,700 до 7,418.

4. Доля полиморфных локусов в исследуемых выборках составляет 98,18 %, индекс Шеннона — от 1,617 до 2,094.

## Список литературы

- [1] Путенихин В.П. Фенотипическая структура популяций дуба черешчатого в Башкирском Предуралье как основа сохранения генофонда вида в регионе // Известия Самарского научного центра РАН, 2013. Т. 15. № 3 (4). С. 1410–1412.
- [2] Габитова А.А. Дуб черешчатый (*Quercus robur* L.) на Южном Урале: эколого-генетический анализ популяционной структуры: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Уфа, 2012. 18 с.
- [3] Семериков Л.Ф. Популяционная структура дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) // Исследование форм внутривидовой изменчивости растений / под ред. С.А. Мамаева, В.И. Шабурова. М.: Наука, 1981. С. 25–51.
- [4] Политов Д.В. Применение молекулярных маркеров в лесном хозяйстве для идентификации, инвентаризации и оценки генетического разнообразия лесных ресурсов // Лесохозяйственная информация, 2008. № 3–4. С. 24–27.
- [5] Боронникова С.В. Популяционно-генетический мониторинг генофондов редких ресурсных видов растений Пермского края // Флора Урала в пределах бывшей Пермской губернии и ее охрана: материалы межрегиональной конф., посвященной 140-летию со дня рождения П.В. Сюзева, Пермь, 18–19 декабря 2007 г. Пермь: Изд-во ПГНИУ, 2007. С. 37–43.
- [6] Алтухова Ю.П. Генетические процессы в популяциях. М.: ИКЦ «Академкнига», 2003. 431 с.
- [7] Нечаева Ю.С., Боронникова С.В., Пришнинская Я.В. Молекулярно-генетический анализ некоторых хвойных видов растений в Пермском крае // Евразийский Союз Ученых, 2014. № 5–5. С. 114–116.
- [8] Чохели В.А., Козловский Б.Л., Середя М.М., Вардунни Т.В. Результаты изучения фенологических форм *Quercus robur* L. с помощью ISSR-маркеров // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки, 2016. № 2 (190). С. 72–77.
- [9] Боронникова С.В. Молекулярно-генетический анализ и оценка состояния генофондов ресурсных видов растений Пермского края. Пермь: Изд-во ПГНИУ, 2013. 223 с.
- [10] Zietkiewicz E., Rafalski A., Labuda D. Genome fingerprinting by simple sequence repeat (SSR)-anchored polymerase chain reaction amplification // Genomics, 1994, v. 20, pp. 76–183.
- [11] Боронникова С.В. Исследование генетической изменчивости популяций редкого вида Урала *Adenophora lilifolia* (L.) A.DC. на основании анализа полиморфизма ISSR-маркеров // Генетика, 2009. Т. 45, № 5. С. 652–655.
- [12] Светлакова Т.Н. Эколого-генетический анализ популяционной структуры *Populus tremula* L. в Пермском крае // Экологическая генетика, 2012. Вып. 3. С. 43–47.
- [13] Reed D.H., Frankham R. Correlation between fitness and genetic diversity // Conserv. Biol., 2003, v. 17, pp. 230–237.
- [14] Lepais O., Leger V., Gerber S. High throughput microsatellite genotyping in oak species // Silvae Genetica, 2006, v. 55, pp. 238–240.
- [15] Chokheli V., Kozlovsky B., Sereda M., Lysenko V., Fesenko I., Varduny T., Kapralova O., Bondarenko E. Preliminary comparative analysis of phenological varieties of *Quercus robur* by ISSR-markers // J. of Botany, 2016, t. 2016, p. 7910451.
- [16] Lefort F., Echt C., Streiff R., Vendramin G.G. Microsatellite sequences: a new generation of molecular markers for forest genetics // Forest Genetics, 1999, no. 6 (1), pp. 15–20.

- [17] Янбаев Р.Ю., Габитова А.А., Султанова Р.Р., Боронникова С.В., Янбаев Ю.А. ISSR-анализ полиморфизма ДНК дуба черешчатого: аргументы в пользу использования для лесовосстановления семян местных насаждений // Известия Оренбургского государственного аграрного университета, 2017. № 1 (63). С. 220–222.
- [18] Боронникова С.В. Молекулярное маркирование и генетическая паспортизация сохранения их генофондов // Аграрный вестник Урала, 2009. № 2 (56). С. 57–59.
- [19] Svetlakova T.N., Boronnikova S.V., Yanbaev Y.A. Genetic diversity and differentiation in Ural populations of the aspen, *Populus tremula* L., as revealed by inter-simple sequence repeat (ISSR) markers // *Silvae Genetica*, 2014, no. 1, pp. 39–41.
- [20] Kimura M., Crow J.F. The number of alleles that can be maintained in a finite population // *Genetics (US)*, 1964, v. 49, pp. 725–738.
- [21] Nei M. Genetic distance between populations // *American Naturalist*, 1972, v. 106, pp. 283–292.
- [22] Nei M., Li W.-H. Mathematical model for studying genetic variation in terms of restriction endonucleases // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 1979, v. 76, pp. 5269–5273.
- [23] Программа и методика по пункту 59. План мероприятий (дорожной карты) «Развитие биотехнологии и генной инженерии». Пушкино: Изд-во ФБУ «Рослесозащита», 2014. 205 с.
- [24] Кулаков Е.Е., Сиволапов В.А., Воробьева Е.А., Сиволапов А.И. Генетическая изменчивость лиственницы Сукачева (*Larix sukaczewii* Djil.) в географических культурах под Воронежем // *Лесотехнический журнал*, 2018. № 1 (29). С. 35–42.
- [25] Воробьева Е.А., Кулаков Е.Е., Сиволапов В.А. Особенности генетического разнообразия нормальных и улучшенных семян рода *Pinus* // Экологические и биологические основы повышения продуктивности и устойчивости природных и искусственно возобновленных лесных экосистем: Материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 100-летию высшего лесного образования в г. Воронеж и Центрально-Черноземном регионе России, Воронеж, 04–06 октября 2018 г. Воронеж: Издат-во ВГЛУ, 2018. Т. 1. С. 498–504.
- [26] Botstein D., White R.L., Skalnick M.H., Davies R.W. Construction of a genetic linkage map in man using restriction fragment length polymorphism. *Am J. Hum. Genet.*, 1980, 32, pp. 314–331.

## Сведения об авторах

**Кулаков Евгений Евгеньевич** — заместитель начальника отдела мониторинга состояния лесных генетических ресурсов филиала ФБУ «Рослесозащита» — «ЦЗЛ Воронежской области», [evgenyukulakov@yandex.ru](mailto:evgenyukulakov@yandex.ru)

**Воробьева Елена Анатольевна** — начальник отдела мониторинга состояния лесных генетических ресурсов филиала ФБУ «Рослесозащита» — «ЦЗЛ Воронежской области», [vorobyeva@rcfh.ru](mailto:vorobyeva@rcfh.ru)

**Сиволапов Владимир Алексеевич** — директор филиала ФБУ «Рослесозащита» — «ЦЗЛ Воронежской области», кандидат сельскохозяйственных наук, [sivalapovva@rcfh.ru](mailto:sivalapovva@rcfh.ru)

**Карпеченко Никита Александрович** — канд. биол. наук, инженер отдела мониторинга состояния лесных генетических ресурсов филиала ФБУ «Рослесозащита» — «ЦЗЛ Воронежской области», [nikitakarpechenko@mail.ru](mailto:nikitakarpechenko@mail.ru)

Поступила в редакцию 05.02.2021.

Принята к публикации 01.03.2021.

## PETIOLATE OAK (*QUERCUS ROBUR*) POLYMORPHISM EVALUATION BY SSR-ANALYZING

E.E. Kulakov, E.A. Vorobyeva, V.A. Sivolapov, N.A. Karpechenko

FBU «Roslesozaschita» — «CFP of Voronezh region», 105, Lomonosov st., 394000, Voronezh, Russia

evgenyykulakov@yandex.ru

The results of molecular-genetic studies of populations of oak petiolate from 11 regions of Russia are presented. Using 10 microsatellite primers, 1049 alleles were identified. The studied samples differ insignificantly in the observed and effective number of alleles. To assess the genetic variability of populations, an indicator of expected and observed heterozygosity was calculated, which indicates a deficiency of heterozygous genotypes. It was found that each individual tree in the studied populations shows 87 % deficiency of heterozygotes relative to the population and 85,7 % relative to the species. It was noted that among all the studied alleles, 81 % were unique, and they occur only in one locus. The dendrogram based on the genetic distance shows clustering of the populations of the oak petiolate into several separate groups.

**Keywords:** *Quercus robur*, DNA polymorphism, SSR-markers, interpopulation diversity

**Suggested citation:** Kulakov E.E., Vorobyeva E.A., Sivolapov V.A., Karpechenko N.A. *Otsenka polimorfizma duba chereschatogo (Quercus robur) s pomoshch'yu SSR-analiza* [Petiolate Oak (*Quercus robur*) polymorphism evaluation by SSR-analyzing]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 4, pp. 44–51. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-4-44-51

### References

- [1] Putenikhin V.P. *Fenotipicheskaya struktura populyatsiy duba chereschatogo v Bashkirskom Predural'e kak osnova sokhraneniya genofonda vida v regione* [Phenotypic structure of oak populations in the Bashkir Urals as a basis for preserving the gene pool of the species in the region]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN* [Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2013, v. 15, no. 3 (4), pp. 1410–1412.
- [2] Gabitova A.A. *Dub chereschatyy (Quercus robur L.) na Yuzhnom Urale: ekologo-geneticheskiy analiz populyatsionnoy struktury* [Pedunculate oak (*Quercus robur* L.) in the Southern Urals: ecological and genetic analysis of the population structure]. Dis. Cand. Sci. (Biol.). Ufa, 2012, 18 p.
- [3] Semerikov L.F. *Populyatsionnaya struktura duba chereschatogo (Quercus robur L.)* [Population structure of pedunculate oak (*Quercus robur* L.)] *Issledovanie form vnutrividovoy izmenchivosti rasteniy* [Research of forms of intraspecific variability of plants]. Moscow: Nauka, 1981, pp. 25–51.
- [4] Politov D.V. *Primenenie molekulyarnykh markerov v lesnom khozyaystve dlya identifikatsii, inventarizatsii i otsenke geneticheskogo raznoobraziya lesnykh resursov* [Application of molecular markers in forestry for identification, inventory and assessment of the genetic diversity of forest resources]. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya* [Forestry information], 2008, no. 3–4, pp. 24–27.
- [5] Boronnikova S.V. *Populyatsionno-geneticheskiy monitoring genofondov redkikh resursnykh vidov rasteniy Permskogo kraya* [Population and genetic monitoring of the gene pools of rare and resource plant species in Perm region]. *Flora Urala v predelakh byvshey Permskoy gubernii i ee okhrana: materialy mezhhregional'noy konferentsii, posvyashchennoy 140-letiyu so dnya rozhdeniya P.V. Syuzeva* [Flora of the Urals within the former Perm province and its protection: materials of the interregional conference dedicated to the 140th anniversary of the birth of P. V. Syuzev], Perm, 18–19 December 2007. Perm: Perm State National Research University, 2007, pp. 37–43.
- [6] Altukhova Yu.P. *Geneticheskie protsessy v populyatsiyakh* [Genetic processes in populations]. Moscow: ICC Akademkniga, 2003, 431 p.
- [7] Nechaeva Yu.S., Boronnikova S.V., Prishnivskaya Ya.V. *Molekulyarno-geneticheskiy analiz nekotorykh khvoynykh vidov rasteniy v Permskom krae* [Molecular genetic analysis of some coniferous plant species in the Perm region]. *Eurasian Union of Scientists*, 2014, no. 5–5, pp. 114–116.
- [8] Chokheli V.A., Kozlovskiy B.L., Sereda M.M., Varduni T.V. *Rezul'taty izucheniya fenologicheskikh form Quercus robur L. s pomoshch'yu ISSR-markerov* [Results of studying the phenological forms of *Quercus robur* L. using ISSR markers]. *Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskiy region. Seriya: Estestvennye nauki* [Izvestiya vuzov. The North Caucasus region. Series: Natural Sciences], 2016, no. 2 (190), pp. 72–77.
- [9] Boronnikova S.V. *Molekulyarno-geneticheskiy analiz i otsenka sostoyaniya genofondov resursnykh vidov rasteniy Permskogo kraya* [Molecular genetic analysis and assessment of the state of gene pools of resource plant species of the Perm region]. Perm: Perm State National Research University, 2013, 223 p.
- [10] Zietkiewicz E., Rafalski A., Labuda D. *Genome fingerprinting by simple sequence repeat (SSR)-anchored polymerase chain reaction amplification*. *Genomics*, 1994, v. 20, pp. 76–183.
- [11] Boronnikova S.V. *Issledovanie geneticheskoy izmenchivosti populyatsiy redkogo vida Urala Adenophora lilifolia (L.) A.DC. na osnovanii analiza polimorfizma ISSR-markerov* [Study of genetic variability of populations of the rare Ural species *Adenophora lilifolia* (L.) A. DC. based on the analysis of polymorphism of ISSR markers]. *Genetics*, 2009, v. 45, no. 5, pp. 652–655.
- [12] Svetlakova T.N. *Ekologo-geneticheskiy analiz populyatsionnoy struktury Populus tremula L. v Permskom krae* [Ecological and genetic analysis of the population structure of *Populus tremula* L. in the Perm region]. *Ekologicheskaya genetika* [Environmental genetics], 2012, v. 3, pp. 43–47.
- [13] Reed D.H., Frankham R. *Correlation between fitness and genetic diversity*. *Conserv. Biol.*, 2003, v. 17, pp. 230–237.

- [14] Lepais O., Leger V., Gerber S. High throughput microsatellite genotyping in oak species. *Silvae Genetica*, 2006, v. 55, pp. 238–240.
- [15] Chokheli V., Kozlovsky B., Sereda M., Lysenko V., Fesenko I., Varduny T., Kapralova O., Bondarenko E. Preliminary comparative analysis of phonological varieties of *Quercus robur* by ISSR-markers. *J. of Botany*, 2016, t. 2016, p. 7910451.
- [16] Lefort F., Echt C., Streiff R., Vendramin G.G. Microsatellite sequences: a new generation of molecular markers for forest genetics. *Forest Genetics*, 1999, no. 6 (1), pp. 15–20.
- [17] Yanbaev R.Yu., Gabitova A.A., Sultanova R.R., Boronnikova S.V., Yanbaev Yu.A. *ISSR-analiz polimorfizma DNK duba chereschatogo: argumenty v pol'zu ispol'zovaniya dlya lesovosstanovleniya semyan mestnykh nasazhdeniy* [ISSR-analysis of DNA polymorphism of oak petiolate: arguments in favor of using seeds of local plantings for reforestation]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Proceedings of the Orenburg State Agrarian University], 2017, no. 1 (63), pp. 220–222.
- [18] Boronnikova S.V. *Molekulyarnoe markirovanie i geneticheskaya pasportizatsiya sokhraneniya ikh genofondov* [Molecular labeling and genetic certification of the preservation of their gene pools]. *Agrarian Bulletin of the Urals*, 2009, no. 2 (56), pp. 57–59.
- [19] Svetlakova T.N., Boronnikova S.V., Yanbaev Y.A. Genetic diversity and differentiation in Ural populations of the aspen, *Populus tremula* L., as revealed by inter-simply sequence repeat (ISSR) markers. *Silvae Genetica*, 2014, no. 1, pp. 39–41.
- [20] Kimura M., Crow J.F. The number of alleles that can be maintained in a finite population. *Genetics (US)*, 1964, v. 49, pp. 725–738.
- [21] Nei M. Genetic distance between populations. *American Naturalist*, 1972, v. 106, pp. 283–292.
- [22] Nei M., Li W.-H. Mathematical model for studying genetic variation in terms of restriction endonucleases. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 1979, v. 76, pp. 5269–5273.
- [23] *Programma i metodika po punktu 59. Plan meropriyatiy (dorozhnoy karty) «Razvitie biotekhnologii i gennoy inzhenerii», utv. rasporyazheniem Pravitel'stva RF Pririodopol'zovanie ot 18 iyunya 2013 g. №1247-r* [Program and methodology under item 59. action plan (road map) «Development of biotechnology and genetic engineering», approved by order of the Government of the Russian Federation nature Management of June 18, 2013, no. 1247-r]. Pushkino: FBU Roslesozashchita, 2014, 205 p.
- [24] Kulakov E.E., Sivolapov V.A., Vorob'eva E.A., Sivolapov A.I. *Geneticheskaya izmenchivost' listvennitsy Sukacheva (Larix sukaczewii Djl.) v geograficheskikh kul'turakh pod Voronezhem* [Genetic variability of Sukachev's larch (*Larix sukaczewii* Dyl.) in geographical cultures near Voronezh]. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forest engineering magazine], 2018, no. 1 (29), pp. 35–42.
- [25] Vorob'eva E.A., Kulakov E.E., Sivolapov V.A. *Osobennosti geneticheskogo raznoobraziya normal'nykh i uluchshennykh semyan roda Pinus* [Features of genetic diversity of normal and improved seeds of the genus *Pinus*]. *Ekologicheskie i biologicheskie osnovy povysheniya produktivnosti i ustoychivosti prirodnnykh i iskusstvenno vuzobnovlennykh lesnykh ekosistem: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 100-letiyu vysshego lesnogo obrazovaniya v g. Voronezh i TsChR Rossii* [Ecological and biological bases for increasing the productivity and sustainability of natural and artificially renewed forest ecosystems: materials of the international scientific and practical conference dedicated to the 100th anniversary of higher forest education in Voronezh and the Central Black Region of Russia]. Voronezh, October 04–06, 2018. Voronezh: VGLTU, 2018, t. 1, pp. 498–504.
- [26] Botstein D., White R.L., Skalnick M.H., Davies R.W. Construction of a genetic linkage map in man using restriction fragment length polymorphism. *Am J. Hum. Genet.*, 1980, 32: 314 – 331.

## Author's information

**Kulakov Evgeny Evgenievich** — Deputy Head of the Department of Monitoring the state of forest genetic resources of the Branch of the FBU «Roslesozaschita» — «CPF of the Voronezh region», [evgenyykulakov@yandex.ru](mailto:evgenyykulakov@yandex.ru)

**Vorobyova Elena Anatolevna** — Head of the Department of Monitoring the state of forest genetic resources of the Branch of FBU «Roslesozaschita» — «CPF of the Voronezh region», [vorobyevaea@rcfh.ru](mailto:vorobyevaea@rcfh.ru)

**Sivolapov Vladimir Alekseevich** — Cand. Sci. (Agriculture), Director of the Branch of the FBU «Roslesozaschita» — «CPF of the Voronezh region», [sivalapovva@rcfh.ru](mailto:sivalapovva@rcfh.ru)

**Karpechenko Nikita Aleksandrovich** — Cand. Sci. (Biology), Engineer of the Department of Monitoring of forest genetic resources of the Branch of FBU «Roslesozaschita» — «CPF of the Voronezh region», [nikitakarpechenko@mail.ru](mailto:nikitakarpechenko@mail.ru)

Received 05.02.2021.

Accepted for publication 01.03.2021.

УДК 631.43

DOI: 10.18698/2542-1468-2021-4-52-58

## ВЫБОР УСЛОВИЙ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ВЛИЯНИЯ ВНУТРИАГРЕГАТНЫХ СВЯЗЕЙ НА ВОДОПРОЧНОСТЬ ПОЧВЕННЫХ АГРЕГАТОВ

Д.И. Потапов<sup>1</sup>, И.В. Горепекин<sup>1</sup>, Г.Н. Федотов<sup>1</sup>,  
В.С. Шалаев<sup>2</sup>, Ю.П. Батырев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, 119991, г. Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, стр. 12, Факультет почвоведения, МГУ имени М.В. Ломоносова

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

lesfak@bk.ru

Приведены результаты поиска подходов к оценке водоустойчивости почвенных агрегатов с помощью модифицированного метода Андрианова. Показано, что распад агрегатов в стоячей воде описывается кинетическим уравнением реакции первого порядка, при этом методы формальной кинетики для описания распада почвенных агрегатов применимы ограниченно ввиду значительного изменения константы скорости реакции во времени. В частности, удобно использовать усредненную константу скорости реакции при сравнении водоустойчивости разных образцов агрегатов. Выявлены основные факторы, влияющие на скорость распада агрегатов: заземленный воздух, производимые анаэробными микроорганизмами газы, внутриагрегатные связи, скорость поступления воды в агрегаты. В ходе проведенных экспериментов показано, что оценку водоустойчивости следует проводить на влажных агрегатах при нормальном атмосферном давлении. Это позволит нивелировать влияние заземленных газов микробного происхождения и обеспечит доминирование влияния внутриагрегатных связей, которые поддерживают водоустойчивость во влажных агрегатах реальных почв.

**Ключевые слова:** водоустойчивость почвенной структуры, внутриагрегатные связи, заземленный воздух, заземленные газы анаэробных микроорганизмов, выбор условий для оценки водоустойчивости почв

**Ссылка для цитирования:** Потапов Д.И., Горепекин И.В., Федотов Г.Н., Шалаев В.С., Батырев Ю.П. Выбор условий для изучения влияния внутриагрегатных связей на водопрочность почвенных агрегатов // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 4. С. 52–58. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-4-52-58

Структура почв представляет собой одну из важнейших агрономических характеристик, определяющих их сельскохозяйственную ценность [1]. От нее зависит объем и качество порового пространства, которые формируют водно-воздушные условия для развития растений. Дефицит воды так же, как и нехватка воздуха являются основными факторами, лимитирующими прорастание семян и развитие растений. В связи с этим способность почв сохранять структуру под действием текучих вод и обеспечивать растения достаточным для их развития количеством кислорода в значительной мере определяет возможность получения высоких урожаев.

При этом под структурой почвы большинство исследователей [1–3] понимают отдельно (агрегаты), на которые способна распадаться почва и которые сами состоят из соединенных между собой механических элементов. Эти авторы не делают разграничений между понятиями «структура», «агрегат», «структурная отдельность» почвы [4]. Способность почв сохранять свою уникальную структуру (хорошо различимые почвенные агрегаты) после обильных осадков и последующего легкого подсушивания определяется ее водоустойчивостью [4].

В настоящее время предполагают, что водоустойчивость почвенной структуры обусловлена амфифильностью почвенной органики [5, 6], которая своими полярными участками связывается

с глинистыми минералами, а гидрофобные части молекул гумуса обеспечивают образование водопрочных связей. При этом считают [6], что влияние на амфифильность почвенной органики оказывают микроорганизмы, развивающиеся в аэробных и анаэробных зонах почвенных агрегатов [7–9]. Необходимо также отметить, что представления о структурной организации почвенной органики, которая определяет водоустойчивость почвенных агрегатов, непрерывно совершенствуются: от отдельных частиц (макромолекул) [10] до образований из этих частиц без уточнения их структурной организации [11, 12] и далее до фрактальных структур [13–15]. Вся эта новая информация заставляет совершенствовать подходы при рассмотрении взаимодействия гумусовых веществ в почве.

Важным вопросом при проверке предположения об обеспечении водоустойчивости почв за счет гидрофобных связей между частицами гумусовых веществ (ГВ) является выбор метода исследования. Известны различные подходы к определению водопрочности почвенной структуры [16]. В связи с тем, что водопрочность характеризует изменение почвенной структуры при воздействии на нее во времени воды, желательно использовать кинетические методы.

С этой точки зрения одним из лучших является метод Андрианова [16], который позволяет получать кинетические кривые распада почвенных

агрегатов в стоячей воде. Основной его недостаток — неизученность влияния на процесс распада почвенных агрегатов наличия в них заземленно-го воздуха.

### Цель работы

Цель работы — совершенствование метода Андрианова и выбор условий, при которых следует проводить оценку влияния пробоподготовки почвенных образцов на их водоустойчивость.

### Материалы и методы

Исследования проводили на образцах агро-дерново-глубокоподзолистой легкосуглинистой почвы на водно-ледниковых (древнеозерных) отложениях, подстилаемых с глубины 92 см бескарбонатными лессовидными (покровными) суглинками, с помощью модифицированного метода Андрианова. Была изготовлена кассета со 106 ячейками диаметром 7 мм. Проволока диаметром 2 мм делила каждую ячейку на две части. В ячейки помещались агрегаты размером 4,5...5,0 мм. После этого кассету с агрегатами опускали в сосуд с водой, чтобы над агрегатами был слой воды 1...2 см. Сосуд ставили на вибростенд и для ускорения распада агрегатов включали вибрацию (частота 50 Гц). Каждые 5 мин проводили фотографирование кассеты с агрегатами. Измерения проводили в течение 65 мин. Длительность проведения эксперимента связана с достижением максимальных значений распада агрегатов при изученных амплитудах вибрации. Распавшиеся агрегаты проваливались, освобождая ячейки, что было хорошо видно на фотоснимках.

Подсчитывая количество оставшихся в кассете агрегатов от времени их взаимодействия с водой, получали кинетические кривые распада почвенных агрегатов, ход которых зависел от амплитуды колебаний вибростенда (рис. 1). Полученные кинетические кривые хорошо аппроксимировались экспоненциальными уравнениями первого порядка. Коэффициент корреляции — 0,94–0,99.

Для установления порядка реакции строили график в координатах «скорость распада агрегатов — количество агрегатов», рассчитывая скорость распада как отношение количества распавшихся агрегатов ( $N_1 - N_2$ ) в течение 10 минут. Линейность полученной зависимости (рис. 2) свидетельствовала о первом порядке реакции распада агрегатов в стоячей воде, которая следовала из физического смысла этой реакции.

На следующем этапе, используя уравнение реакции первого порядка, вычисляли константу скорости реакции:

$$v = k \times N \rightarrow \frac{N_1 - N_2}{\tau_1 - \tau_2} = k \times \frac{N_1 + N_2}{2},$$

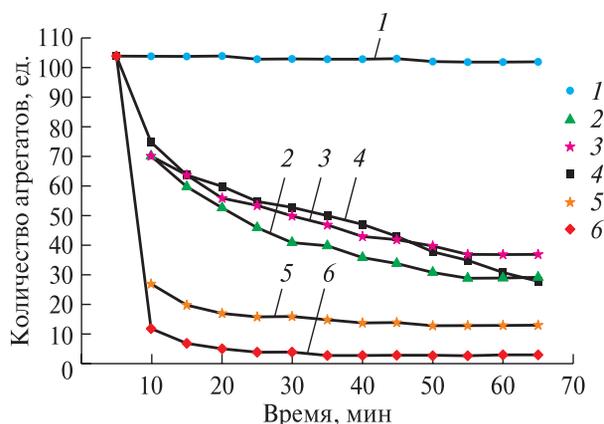


Рис. 1. Влияние амплитуды вибрации на водоустойчивость агрегатов дерново-подзолистой почвы при следующих режимах: 1 — нет вибрации; 2 — вибрация 0,3 мм; 3 — 0,45 мм; 4 — 0,6 мм; 5 — 0,75 мм; 6 — 0,9 мм

Fig. 1. Influence of vibration amplitude on water stability of sod-podzolic soil aggregates under the following modes: 1 — no vibration; 2 — vibration 0,3 mm; 3 — 0,45 mm; 4 — 0,6 mm; 5 — 0,75 mm; 6 — 0,9 mm

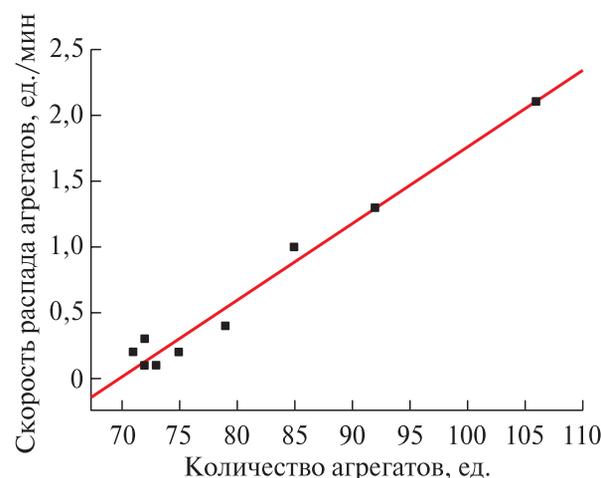


Рис. 2. Проверка первого порядка реакции распада агрегатов дерново-подзолистой почвы графическим методом

Fig. 2. Checking the first order reaction of sod-podzolic soil aggregates decomposition by a graphical method

где  $v$  — скорость распада агрегатов;

$N_1$  и  $N_2$  — соответственно начальное и конечное количество агрегатов в промежутке времени;

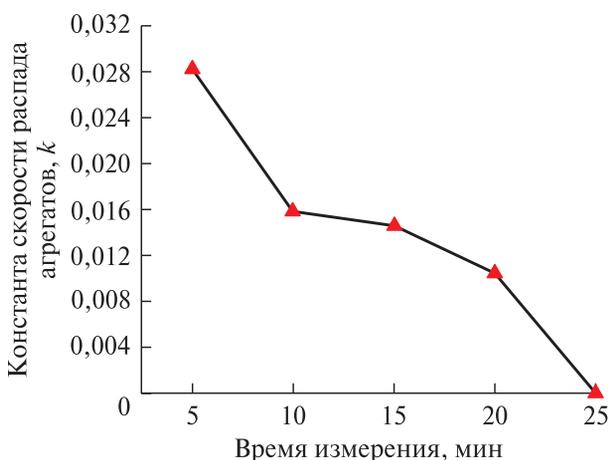
$\tau_1$  и  $\tau_2$  — соответственно начальный и конечный промежуток времени;

$k$  — константа скорости.

Отсюда получаем:

$$k = \frac{(N_1 - N_2) \times 2}{(\tau_1 - \tau_2)(N_1 + N_2)}.$$

По результатам вычислений построили зависимость в координатах константы скорости от времени измерения (рис. 3).



**Рис. 3.** Зависимость константы скорости распада агрегатов дерново-подзолистой почвы от времени

**Fig. 3.** Dependence on time of the rate constant of sod-podzolic soil aggregates decomposition

В отличие от химических реакций, где константа скорости является постоянной величиной на протяжении всего периода протекания реакции, в процессе распада почвенных агрегатов константа скорости уменьшается во времени при снижении количества оставшихся агрегатов. Это свидетельствует о том, что у нераспавшихся агрегатов прочность и количество контактов в агрегатах тем больше, чем дольше они не распадаются.

В этих условиях использование методов формальной кинетики некорректно. На наш взгляд, допустимо и удобно применять интегральный показатель усредненной константы скорости реакции, что позволяет проводить сравнение скоростей распада агрегатов при различных амплитудах вибрации, а также при разных степенях увлажнения почвенных агрегатов. Расчет проводили по формуле

$$k = \frac{\ln\left(\frac{A}{A-x}\right)}{\tau}$$

где  $A$  — общее количество агрегатов;

$x$  — количество распавшихся агрегатов за промежуток времени  $t$ ;

$\tau$  — время проведения эксперимента (65 мин).

Общепринято полагать [3, 4], что разрушение почвенных агрегатов в воде определяется защемленным в них воздухом. В результате удаления воздуха водопрочность агрегатов возрастает на несколько порядков. Для этого используют вакуумирование перед помещением агрегатов в воду или капиллярное увлажнение в течение нескольких суток [3, 4]. В целях учета влияния этого важнейшего фактора в модифицированный метод Андрианова включили следующие дополнительные процедуры:

– определение суммарной массы агрегатов, помещаемых в кассету;

– вакуумирование агрегатов, находящихся в кассете, в течение 15 мин при давлении 15 кПа;

– перемещение кассеты таким образом, чтобы фитили, спускающиеся с проволочек, разделяющих ячейки кассеты пополам, начинали контактировать с водой, обеспечивая капиллярное увлажнение агрегатов в вакууме в течение следующих 15 мин;

– отключение вакуума, поднятие уровня воды на 1...2 см выше агрегатов и включение вибростенда;

– проведение фотографирования агрегатов в кассете каждые 5 мин в течение 65 мин;

– расчет усредненной константы скорости реакции распада агрегатов в воде по количеству оставшихся агрегатов через 65 мин вибровоздействия;

– построение зависимости навески агрегатов в кассете от усредненной константы скорости реакции распада агрегатов.

## Результаты и обсуждение

На первом этапе исследования изучали распад воздушносухих и влажных почвенных агрегатов по модернизированной методике Андрианова при поступлении в них воды в условиях вакуума. Установлено, что водостойчивость воздушносухих агрегатов в условиях вакуума сильно возрастает в отличие от условий нормального атмосферного давления (рис. 4).

При оценке водостойчивости следует учитывать влияние размера почвенных агрегатов, что отражается в зависимости водостойчивости агрегатов от их суммарной массы, поскольку агрегаты, находящиеся в воде и колеблющиеся при воздействии на них вибрации, распадаются постепенно — от них откалываются небольшие части, которые проваливаются через ячейки кассеты. У больших агрегатов время уменьшения размера до момента выпадения остатков агрегатов из ячеек кассеты больше, чем у агрегатов меньшего размера, поэтому фиксация их распада по используемой методике занимает больше времени. Поэтому для корректного сравнения получаемых данных необходимо учитывать размер агрегатов, который пропорционален их суммарной навеске.

Был проведен эксперимент, в котором капиллярное увлажнение воздушносухих агрегатов проводили не только 15 мин в вакууме, как описано выше, а дополнительно еще в течение суток. Однако их водостойчивость при изменении условий эксперимента не увеличилась, что подтвердило лимитирующее влияние именно защемленного воздуха на повышение водостойчивости агрегатов, которые подвергали длительному предварительному капиллярному увлажнению [4].

Изучение водоустойчивости влажных агрегатов в условиях вакуума показало, что влажные агрегаты при этом распадаются заметно быстрее воздушносухих агрегатов (рис. 4).

На основе имеющихся к настоящему времени данных и полученных результатов проанализируем механизм процесса распада агрегатов в стоячей воде по модифицированному методу Андрианова и определим лимитирующие его факторы.

В случае проведения экспериментов при атмосферном давлении основное влияние на процесс распада оказывает защемленный воздух. При помещении сухих агрегатов в воду процесс поступления в них воды происходит очень быстро, что приводит к скачку давления защемленного воздуха и распаду (микровзрыву) агрегатов [1, 3].

Таким образом, изучать водоустойчивость воздушносухих агрегатов в условиях нормального атмосферного давления не имеет смысла, поскольку основное влияние на водоустойчивость в этих условиях оказывает защемленный воздух.

При определении водоустойчивости воздушносухих агрегатов, по методу Андрианова, в условиях вакуума воздух из их капилляров удаляется полностью. В анаэробной части агрегатов газы не образуются вследствие практически полной остановки микробиологических процессов в воздушносухой почве, что приводит к устранению влияния защемленного воздуха и газов на процесс распада агрегатов в стоячей воде. В связи с этим можно проводить оценку водопрочности воздушносухих агрегатов в вакууме и сравнивать их между собой. Однако нет полного понимания, определяют ли их водоустойчивость те же связи, что и во влажных агрегатах реальных почв [17].

В то же время, из влажных агрегатов защемленный воздух, по-видимому, удаляется полностью, но защемленные в анаэробных зонах газы [7–9] остаются и определяют устойчивость агрегатов. В результате в условиях вакуума наблюдается обратная картина: влажные агрегаты имеют меньшую водоустойчивость по сравнению с воздушносухими агрегатами (рис. 4). Можно ожидать, что при росте биологической активности почв определяемая этим методом водоустойчивость агрегатов вследствие роста содержания в них защемленных газов будет снижаться.

Следовательно, определение водоустойчивости влажных почвенных агрегатов в вакууме теряет смысл, поскольку определяющим фактором их водоустойчивости становится напряженность биохимических процессов, которые приводят к образованию нерастворимых в воде газов, а не прочность связей внутри агрегатов.

Устранить доминирующее влияние этого фактора на распад агрегатов может, во-первых, снижение влияния защемленных газов, которое

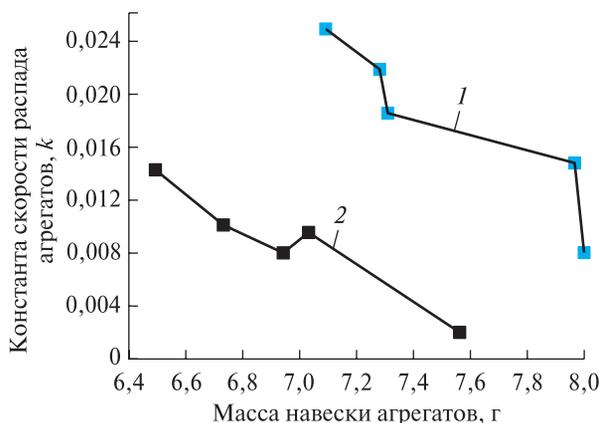


Рис. 4. Усредненные константы скорости распада агрегатов дерново-подзолистой почвы различной степени увлажнения в зависимости от массы навески агрегатов: 1 — влажные агрегаты; 2 — воздушно-сухие агрегаты

Fig. 4. Average rate constants of sod-podzolic soil aggregates decomposition of various degrees of moisture depending on the weight of the sample aggregates: 1 — wet units; 2 — air-dry units

существенно меньше в условиях нормального атмосферного давления, во-вторых, наличие в агрегатах защемленного воздуха, количество которого будет больше количества газов, накопившихся в агрегате в результате жизнедеятельности анаэробных микроорганизмов.

В таком случае при определении водоустойчивости образцов влажных агрегатов при атмосферном давлении при их одинаковой (близкой) влажности распад агрегатов должен определяться, в первую очередь, скоростью поступления в агрегаты воды и прочностью связей между частями агрегатов. Как следствие, быстрее должны распадаться агрегаты с более гидрофильной поверхностью капилляров, прочность которых обеспечивается меньшим количеством гидрофобных связей.

## Выводы

В результате проведенных экспериментов и анализа полученных данных удалось выбрать условия проведения опытов по методу Андрианова, позволяющих изучать с его помощью влияние способов пробоподготовки почвенных образцов на их водоустойчивость. Исследования должны проводиться на агрегатах с одинаковой (близкой) влажностью при атмосферном давлении, что позволит оценить структурообразующую роль гидрофобных связей почвенных агрегатов, а также устранить влияние защемленных в анаэробных зонах газов.

## Список литературы

- [1] Вершинин П.В. Почвенная структура и условия ее формирования. М.; Л.: Изд-во АН СССР, Ленинградское отделение, 1958. 188 с.

- [2] Почвоведение / под ред. И.С. Кауричева. М., Колос. 1975. 496 с.
- [3] Ревут Н.Б. Физика почв. Л.: Колос, 1972, 368 с.
- [4] Хан К.Ю. Энергетическая характеристика водоустойчивости почвенных агрегатов: дис. ... д-ра биол. наук. Пушкино, 2012. 300 с.
- [5] Милановский Е.Ю., Шеин Е.В. Функциональная роль амфифильных компонентов гумусовых веществ в процессах гумусо-структурообразования и в генезисе почв // Почвоведение, 2002, № 10. С. 1201–1213.
- [6] Шеин Е.В., Милановский Е.Ю. Роль и значение органического вещества в образовании и устойчивости почвенных агрегатов // Почвоведение, 2003, № 1. С. 53–61.
- [7] Степанов А.Л., Манучарова Н.А. Образование и поглощение парниковых газов в почвенных агрегатах. М.: Университет и школа, 2006. 81 с.
- [8] Hattori T. Soil aggregates as microhabitats for microorganisms // Reports of the Institute for Agricultural Research — Tohoku University (Japan), 1988, v. 37, pp. 23–26.
- [9] Klein A.D., Thayer J.S. Interaction between soil microbial communities and organometallic compounds. Soil Biochem. V. 6. / Eds J.M. Bollag, C Stotsky. N.Y.: Marcel Dekker, 1980, pp. 431–481.
- [10] Александрова Л.Н. Гумус как система полимерных соединений // Тр. юбилейной сессии, посвященной 100-летию со дня рождения В.В. Докучаева. М.: Изд-во АН СССР, 1949. с. 225–232.
- [11] Liu C, Huang P.M. Atomic Force Microscopy of pH, Ionic Strength and Cadmium Effects on Surface Features of Humic Acid // Understanding Humic Substances: Advanced Methods, Properties and Applications / Eds E. A. Ghabbour, G. Davies. Cambridge: Woodhead Publishing, 1999, p. 286.
- [12] Ziechmann W. Evolution of Structural Models from Consideration of Physical and Chemical Properties // Humic Substances and Their Role in the Environment / Eds. R.F. Christman. John Wiley & Sons Limited, 1988, pp. 113–132.
- [13] Österberg R., Mortensen K. Fractal dimension of humic acids. A small angle neutron scattering study // European Biophysics J., 1992, v. 21(3), pp. 163–167.
- [14] Senesi N., Rizzi F.R., Dellino P., Acquafredda P. Fractal humic acids in aqueous suspensions at various concentrations, ionic strengths, and pH values // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 1997, v. 127, iss. 1–3, pp. 57–68.
- [15] Senesi N., Rizzi F.R., Dellino P., Acquafredda P. Fractal dimension of humic acids in aqueous suspension as a function of pH and time // Soil Science Society of America J., 1996, v. 60, no. 6, pp. 1613–1678.
- [16] Теории и методы физики почв / под ред. Е.В. Шеина, Л.О. Карпачевского, Т.А. Архангельской. М.: Гриф и К, 2007. 616 с.
- [17] Федотов Г.Н., Шоба С.А., Поздняков А.И., Пузанова А.Е. Структурный переход в гумусовой матрице почвенных гелей и его влияние на свойства почв // Почвоведение, 2014. № 9. С. 1056–1067.
- [18] Лобков В.Т. Использование почвенно-биологического фактора в земледелии. Орел: Изд-во Орловского ГАУ, 2017. 166 с.
- [19] Берестецкий О.А. Фитотоксины почвенных микроорганизмов и их экологическая роль // Фитотоксические свойства почвенных микроорганизмов / под ред. О.А. Берестецкого. Л., ВНИИСХМ. 1978. С. 7–30.
- [20] Теория и практика химического анализа почв / под ред. Л.А. Воробьевой. М.: Геос, 2006. 400 с.

## Сведения об авторах

**Потапов Дмитрий Иванович** — аспирант Факультета почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова, zmiyovka1995@mail.ru

**Горепекин Иван Владимирович** — аспирант Факультета почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова, decembrist96@yandex.ru

**Федотов Геннадий Николаевич** — д-р биол. наук, вед. науч. сотр., Факультет почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова, gennadiy.fedotov@gmail.com

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

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

Поступила в редакцию 02.02.2021.

Принята к публикации 01.03.2021.

## SELECTION OF CONDITIONS FOR STUDYING INTRAAGGREGATE CONNECTIONS INFLUENCE ON WATER STABILITY OF SOIL AGGREGATES

D.I. Potapov<sup>1</sup>, I.V. Gorepyokin<sup>1</sup>, G.N. Fedotov<sup>1</sup>,  
V.S. Shalaev<sup>2</sup>, Yu.P. Batyrev<sup>2</sup>

<sup>1</sup>M.V. Lomonosov Moscow State University, Faculty of Soil Science, GSP-1, 1, p. 12, Leninskie Gory, 119991, Moscow, Russia

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

gennadiy.fedotov@gmail.com

The search for approaches to assessment the water resistance of soil aggregates is conducted using the modified Andrianov method. It is shown that the kinetic equation of the first-order reaction could be applied to describe the aggregates destruction in standing water. Methods of formal kinetics at the same time are just partially applicable for the description of soil aggregates destruction because of a significant change in the reaction rate constant over time. In particular, the average constant of reaction rate is convenient for water resistance comparison of different aggregates samples. It is established that the main factors that determine the speed of aggregate destruction are trapped air, gases produced by anaerobic microorganisms as well as intra-aggregate connections and the velocity of water entering the aggregates. In the course of the conducted experiments, it is shown that water resistance assessment should perform on wet aggregates under the normal atmospheric pressure. It allows neutralizing the influence of trapped gases of microbial origin and providing the domination of intra-aggregate connections that sustain water resistance in wet aggregates of real soils.

**Keywords:** water resistance of the soil structure, intra-aggregate connections, trapped air, trapped gases produced by anaerobic microorganisms, selection of conditions for assessing the water resistance of soils

**Suggested citation:** Potapov D.I., Gorepekin I.V., Fedotov G.N., Shalaev V.S., Batyrev Yu.P. *Выбор условий для изучения влияния внутриагрегатных связей на водостойкость почвенных агрегатов* [Selection of conditions for studying intraaggregate connections influence on water stability of soil aggregates] // *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 4, pp. 52–58. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-4-52-58

### References

- [1] Vershinin P.V. *Pochvennaya struktura i usloviya ee formirovaniya* [Soil structure and conditions of its formation]. Moscow, Leningrad: Publishing house of the USSR Academy of Sciences. Leningrad branch, 1958, 188 p.
- [2] *Pochvovedenie* [Soil science]. Ed. I.S. Kaurichev. Moscow: Kolos, 1975, 496 p.
- [3] Revut N.B. *Fizika pochv* [Soil physics]. Leningrad: Kolos, 1972, 368 p.
- [4] Khan K.Yu. *Energeticheskaya kharakteristika vodoustoychivosti pochvennykh agregatov* [Energy characteristic of water resistance of soil aggregates]. Dis. Dr. Sci. (Biol.). Pushchino, 2012, 300 p.
- [5] Milanovskiy E.Yu., Shein E.V. *Funktsional'naya rol' amfifil'nykh komponentov gumusovykh veshchestv v protsessakh gumuso-strukturoobrazovaniya i v genezise pochv* [The functional role of amphiphilic components of humic substances in the processes of humus-structure formation and in the genesis of soils]. *Pochvovedenie* [Eurasian Soil Science], 2002, no. 10, pp. 1201–1213.
- [6] Shein E.V., Milanovskiy E.Yu. *Rol' i znachenie organicheskogo veshchestva v obrazovanii i ustoychivosti pochvennykh agregatov* [The role and importance of organic matter in the formation and stability of soil aggregates]. *Pochvovedenie* [Eurasian Soil Science], 2003, no. 1, pp. 53–61.
- [7] Stepanov A.L., Manucharova N.A. *Obrazovanie i pogloshchenie parnikovyykh gazov v pochvennykh agregatakh* [Formation and uptake of greenhouse gases in soil aggregates]. Moscow: Universitet i shkola, 2006, 81 p.
- [8] Hattori T. Soil aggregates as microhabitats for microorganisms. Reports of the Institute for Agricultural Research — Tohoku University (Japan), 1988, v. 37, pp. 23–26.
- [9] Klein A.D., Thayer J.S. Interaction between soil microbial communities and organometallic compounds. *Soil Biochem.* Eds J.M. Bollag, C. Stotsky. V. 6. N.Y.: Marcel Dekker, 1980, pp. 431–481.
- [10] Aleksandrova L.N. *Gumus kak sistema polimernykh soedineniy* [Humus as a system of polymer compounds]. Trudy yubil. sessii, posv. 100-letiyu so dnya rozhdeniya V.V. Dokuchaeva [Proceedings of the jubilee. session dedicated. To the 100th anniversary of the birth of V.V. Dokuchaev]. Moscow: Ed. Academy of Sciences of the USSR, 1949, pp. 225–232.
- [11] Liu C, Huang P.M. Atomic Force Microscopy of pH, Ionic Strength and Cadmium Effects on Surface Features of Humic Acid. *Understanding Humic Substances: Advanced Methods, Properties and Applications.* Eds E. A. Ghabbour, G. Davies. Cambridge: Woodhead Publishing, 1999, p. 286.
- [12] Ziechmann W. Evolution of Structural Models from Consideration of Physical and Chemical Properties. *Humic Substances and Their Role in the Environment.* Eds. R.F. Christman. Wiley & Sons Limited, 1988, pp. 113–132.
- [13] Österberg R., Mortensen K. Fractal dimension of humic acids. A small angle neutron scattering study. *European Biophysics J.*, 1992, v. 21(3), pp. 163–167.
- [14] Senesi N., Rizzi F.R., Dellino P., Acquafredda P. Fractal humic acids in aqueous suspensions at various concentrations, ionic strengths, and pH values. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 1997, v. 127, iss. 1–3, pp. 57–68.
- [15] Senesi N., Rizzi F.R., Dellino P., Acquafredda P. Fractal dimension of humic acids in aqueous suspension as a function of pH and time. *Soil Science Society of America J.*, 1996, v. 60, no. 6, pp. 1613–1678.
- [16] *Teorii i metody fiziki pochv* [Theories and methods of soil physics]. Ed. E.V. Shein, L.O. Karpachevsky, T.A. Arkhangel'skaya. Moscow: Grif i K, 2007, 616 p.

- [17] Fedotov G.N., Shoba S.A., Pozdnyakov A.I., Puzanova A.E. *Strukturnyy perekhod v gumusovoy matritse pochvennykh geley i ego vliyaniye na svoystva pochv*. Pochvovedenie [Eurasian Soil Science], 2014, no. 9, pp. 1056–1067.
- [18] Lobkov V.T. *Ispol'zovanie pochvenno-biologicheskogo faktora v zemledelii* [Use of the soil-biological factor in agriculture]. Oryol: Oryol State Agrarian University, 2017, 166 p.
- [19] Berestetskiy O.A. *Fitotoksiny pochvennykh mikroorganizmov i ikh ekologicheskaya rol'* [Phytotoxins of soil microorganisms and their ecological role]. Fitotoksicheskie svoystva pochvennykh mikroorganizmov [Phytotoxic properties of soil microorganisms]. Leningrad: VNIISHM, 1978, pp. 7–30.
- [20] *Teoriya i praktika khimicheskogo analiza pochv* [Theory and practice of chemical analysis of soils]. Ed. L.A. Vorob'eva. Moscow: Geos, 2006, 400 p.

## Authors' information

**Potapov Dmitriy Ivanovich** — pg., Lomonosov Moscow State University, zmiyovka1995@mail.ru

**Gorepekin Ivan Vladimirovich** — pg., Lomonosov Moscow State University, decembrist96@yandex.ru

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

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

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

Received 02.02.2021.

Accepted for publication 01.03.2021.

УДК 630\*432

DOI: 10.18698/2542-1468-2021-4-59-68

## РАБОТА С НАСЕЛЕНИЕМ ПО ПРЕДУПРЕЖДЕНИЮ ПОЖАРОВ В ЛЕСУ

Л.Н. Бердникова

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

Vlaga26@mail.ru

Проведен социально-демографический анализ основных целей посещения лесов, расположенных вблизи от населенных пунктов, населением Красноярского края. Представлены данные о разделении виновников лесных пожаров классифицированных по возрасту, полу и месту жительства. Определено соотношение граждан, предпочитающих такой вид отдыха и лиц, которые отправляются в лес в целях заготовки лесных недревесных продуктов. Разработана классификация населения для различных по количеству жителей населенных пунктов. Собраны сведения о местных социальных группах населения, в целях их привлечения к лесопожарному делу не только для прямого участия, но и для проведения противопожарных профилактических мероприятий.

**Ключевые слова:** лесной пожар, население, лес, огонь, социальные группы, мероприятия, лесопожарная пропаганда

**Ссылка для цитирования:** Бердникова Л.Н. Работа с населением по предупреждению пожаров в лесу // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 4. С. 59–68. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-4-59-68

В подавляющем большинстве случаев пожары в лесу возникают вследствие неосторожного обращения людей с огнем при выполнении ими тех или иных работ либо во время отдыха. Как показывает практика, проведение профилактических мероприятий по предотвращению лесных пожаров имеет существенно большую эффективность и менее затратно, нежели непосредственная борьба с пожарами. Работы по предотвращению лесных пожаров следует осуществлять при сочетании традиционных и современных способов противопожарной пропаганды, последовательно и регулярно информируя население о пожарной опасности в лесах и мерах противодействия огню, повышая активность распространения информации и экологического образования населения.

Для радикального снижения горимости лесов на всей территории Красноярского края требуется решения множества сложных технических и организационных задач, и прежде всего, проведение профилактической противопожарной работы, осуществляемой в плановом порядке и направленной на предупреждение возникновения и развития лесных пожаров.

### Цель работы

Цель работы — разработка адресных методов оповещения населения, направленных на предотвращение лесных пожаров по его однородным группам или отдельным, по конкретным людям.

Различное отношение людей к лесным пожарам зависит от их социального уровня, как и степень готовности к участию в охране лесов от пожаров. К тому же по разным населенным пунктам активность и интересы групп и людей неодинаковы. Отсюда следует вывод о необходимости расширять знания и обеспечивать по-

нимание населением существующей опасности и призывать его к разумному взаимодействию. Достичь этого можно с помощью изучения поведения и настроения людей, такими методами, как интервьюирование, наблюдение, анкетирование, и т. п. [1].

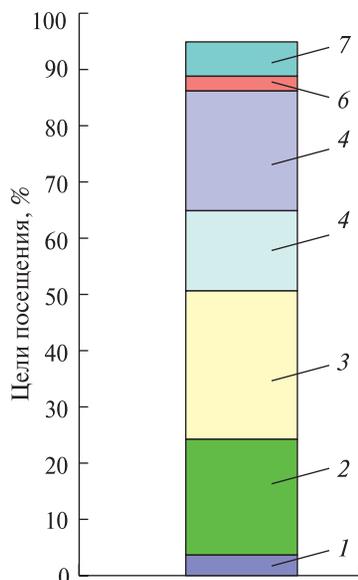
### Объекты и методы исследований

Нами был проведен социально-демографический анализ основных целей посещения населением Красноярского края близлежащих от населенных пунктов лесов и установлены приоритеты посещения леса. Как, собственно, и в других местах лесных местностей, население посещает лес для сбора лесных недревесных продуктов — ягод, грибов, лекарственно-технического сырья (рис. 1) [2, 3], а так же для рыбной ловли в водоемах лесов, охоты, отдыха или хозяйственных работ.

Лица в возрасте до 20–25 лет отдают предпочтение отдыху в виде туризма, пеших прогулок и т. п. Старшее население чаще посещает лес для заготовок лесных недревесных продуктов. Мужчины, предпочитающие охоту и рыбную ловлю, составляют примерно равное число с просто отдыхающими. Практически не занимаются рыбалкой и охотой женщины, они в основном собирают недревесные продукты леса [4–8].

Мужчины проводят в лесу не более 21 часа в месяц и являются типичными посетителями, тогда как женщины находятся в лесу не более пяти часов в месяц. Наиболее часто посещает лес возрастная группа от 20 до 40 лет.

Из числа мужчин, посещающих лес, 60 % имеют спички и зажигалки, 41 % из них курят, 26 % разводят в лесу костры. Эти показатели у женщин значительно ниже — 29 % имеют зажигалки и спички, 10 % разводят костры, 7 % курят.



**Рис. 1.** Распределение населения по целям посещения леса в Красноярском крае: 1 — хозяйственные работы (3,6 %); 2 — сбор ягод (21,9 %); 3 — сбор грибов (27,9 %); 4 — сбор лекарственно-технического сырья (15,0 %); 5 — отдых (22,3 %); 6 — охота (2,8 %); 7 — рыбалка (2,8 %)

**Fig. 1.** Distribution of the population by the purpose of visiting the forest in the Krasnoyarsk Territory: 1 — general labour activities (3,6 %); 2 — picking berries (21,9 %); 3 — mushroom picking (27,9 %); 4 — collection of medicinal and technical raw materials (15,0 %); 5 — recreation (22,3 %); 6 — hunting (2,8 %); 7 — fishing (2,8 %)

Опрос посетителей лесов в Красноярском крае показал, что ни при каких обстоятельствах 54 % посетителей леса не будут курить в лесу, 38 % при курении принимают особые меры предосторожности, 7 % воздерживаются от курения в лесу, курит обычно только 1 %. Ни при каких обстоятельствах и никогда не разводят костры 36 % посетителей леса, не разводят костры в период повышенной опасности возгорания леса — 19 % посетителей леса, 44 % продолжают костры разводить, но при этом предпринимают все необходимые дополнительные меры по предотвращению возникновения пожаров и всего лишь 1 % разводит костры в лесу без дополнительных мер предосторожности.

По отдельным районам Красноярского края в среднем доля населения, создающего пожарную опасность в лесу, составляет 10 %, а по мелким поселениям 5...25 %.

## Результаты исследований

В Красноярском крае виновниками лесных пожаров, являются преимущественно работники сельского хозяйства и рабочие промышленных предприятий, затем инженерно-технические работники, служащие, безработные, пенсионеры и домохозяйки, студенты, учащиеся школ и дошкольники (рис. 2, таблица).

Виновниками лесных пожаров, как правило, являются жители села — 72 %. Однако молодежь старше 20 лет представляет не меньшую опасность для леса, наряду с людьми среднего возраста, поскольку по их вине возникает 85 % всех пожаров. 94 % всех лесных пожаров возникает по вине представителей мужского пола [9].

Принадлежность населения к той или иной группе характеризует, в первую очередь ее потенциальную опасность с точки зрения возникновения лесного пожара, а наряду с ней — возможность приобщения представителей данной группы к деятельности по его предотвращению [10].

Жители средних и крупных городов с численностью населения более 50 тыс. чел. составляют **первую группу**. Состав жителей в них очень неоднородный, многие не имеют прямых связей с лесом, и здесь не рассматриваются [11]. В данной группе нами выделены такие подгруппы населения, как специалисты, учащиеся, школьники, члены неправительственных полужокологических и экологических организаций и реакранты. Рассмотрим их.

**Специалисты**, служебная деятельность которых непосредственно связана с лесом, это — геологи, работники лесного комплекса, топографы и т. п. Как правило, они относятся к служащим, реже — к рабочим различных муниципальных государственных и управленческих организаций и фирм. Эта группа как минимум один раз в год проходит инструктаж по технике безопасности, который включает в себя и лесопожарные разделы. Часть лиц из этой категории может выступать и выступает на практике в качестве координаторов противопожарных работ в лесу. Внутри группы можно выделить *подгруппу научных работников*, которые проводят исследования непосредственно в лесу: биологи, лесоводы, экологи и т. п. Их можно привлечь к активной работе в качестве лекторов, преподавателей и пропагандистов лесопожарных знаний.

**Учащиеся** — студенты колледжей, вузов и техникумов, особенно связанные с биологическими, лесными, геологическими, географическими, и иными сходными профессиями. Они имеют большой потенциал, позволяющий им не только выступать проводниками и распространителями знаний, но и непосредственными исполнителями акций по предотвращению лесных пожаров. В данной подгруппе достаточно высокий процент курильщиков и, находясь в лесу, они склонны игнорировать правила противопожарной безопасности. Поэтому появляется острая необходимость в воспитательных работах в целях выработки у таких будущих специалистов экологической ответственности.

### Классификация виновников лесных пожаров в Красноярском крае по возрасту, полу и месту жительства, %

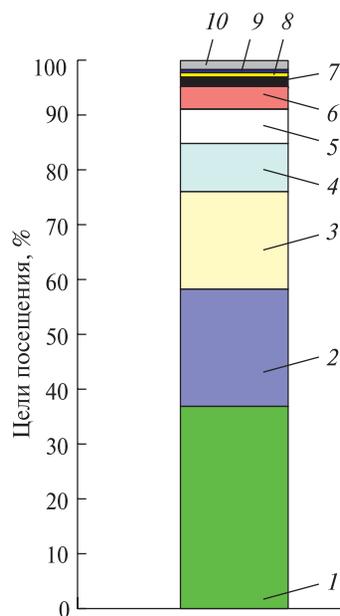
Classification of forest fires in the Krasnoyarsk Territory by age, gender and place of residence, %

Административно-территориальная единица	Дети			Взрослые			Пенсионеры			Всего
	Девочки	Мальчики	Итого	Женщины	Мужчины	Итого	Женщины	Мужчины	Итого	
Село	0,3	4,7	5,0	4,0	58,6	62,6	0,3	4,4	4,7	72,3
Город	–	4,1	4,1	1,0	21,4	22,4	–	1,2	1,2	27,7
Всего	0,3	8,8	9,1	5,0	80,0	85,0	0,3	5,6	5,9	100

**Школьники** — организованная часть населения, получающая первичное экологическое образование, частично объединенная в экологические кружки, зеленые патрули, школьные лесничества и пр. Их влияние на лесопожарную ситуацию в большой мере связано с их возрастом. Подгруппа школьников подразделяется на школьников начальных классов и школьников старших классов.

**Школьники начальных классов** получают большое впечатление от путешествий, встреч с животными, преодоления различных препятствий. Предпочитают подвижные занятия, участие в диалоге, эмоциональный подход к окружающему миру и предметные сведения. Городские школьники в этом возрасте, как правило, посещают лес вместе с родителями или воспитателями. **Школьники старших классов** наряду с неприятием нравочений и негативизмом им присущим, тем не менее, имеют желание учиться и стремятся сделать карьеру. Они хорошо воспринимают исследовательский, экстремальный и чрезвычайный подходы к своему воспитанию, парадоксальную и рациональную подачу информации. Отправляясь в лес, они находятся в эмоционально возбужденном состоянии, не всегда могут сохранить дисциплину и подвергать себя самоконтролю. При этом в случае обнаружения загораний в лесу бывают активны.

**Члены неправительственных полужокологических и экологических организаций** заняты поиском путей охраны лесных богатств [3, 12]. Фактически около 85 % активно действующих этих неправительственных организаций (НПО) находятся в крупных и средних городах. Они делятся на следующие подгруппы: инициативные ячейки, общественные организации (официально зарегистрированные), умеющие находить средства и имеющие опыт работы, отделения крупных международных и российских НПО, имеющие постоянные каналы получения средств или собственные средства и поддерживающие другие НПО. Эта группа людей играет значительную роль в сотрудничестве с населением или профессиональными службами, например, с лесной охраной.



**Рис. 2.** Совокупная структура виновников лесных пожаров в Красноярском крае: 1 — рабочие промышленных предприятий (3,6 %); 2 — работники сельского хозяйства (21,4 %); 3 — инженерно-технические работники (17,8 %); 4 — учащиеся (9,0 %); 5 — пенсионеры и домохозяйки (6,1 %); 6 — служащие (4,4 %); 7 — безработные; 8 — студенты; 9 — дошкольники; 10 — прочие (1,8 %)

**Fig. 2.** The aggregate structure of forest fires in the Krasnoyarsk Territory: 1 — workers of industrial enterprises (3,6 %); 2 — agricultural workers (21,4 %); 3 — engineering and technical workers (17,8 %); 4 — schoolers (9,0 %); 5 — pensioners and housewives (6,1 %); 6 — office workers (4,4 %); 7 — unemployed; 8 — students; 9 — preschoolers; 10 — other (1,8 %)

**Рекреанты** составляют многочисленную группу горожан, которые проводят в лесу свой досуг. Они заинтересованы в сохранении лесов, хотя среди них можно встретить немало представителей, причиняющих ущерб лесной среде и лесному покрову. При этом их можно привлечь к мероприятиям по сохранению леса. Это очень разнородная подгруппа и включает в себя: рекреантов выходного дня, маршрутных туристов, рекреантов — сборщиков недревесных продуктов леса, рыболовов-любителей, охотников-любителей и дачников.

*Рекреанты выходного дня* — самая многочисленная подгруппа. Концентрируются в пригородных и придорожных лесах, которые, как правило, являются лесами 1-й группы особо охраняемых природных территорий, вызывает повышенный стресс на эти леса, но в то же время позволяет контролировать поведение этих людей и регулировать их доступ в лес.

*Маршрутные туристы*, находящиеся в лесу несколько дней подряд и проникающие в удаленные уголки, в случае неосторожного обращения с огнем могут вызвать пожары в очень удаленных участках, которые впоследствии трудно тушить.

*Рекреанты — сборщики недревесных продуктов леса (НПЛ)*. В целях сбора НПЛ они готовы удаляться от города на 80...100, а нередко и 200...300 км. Виновники многих пожаров, порождаемых в пределах территории, удаленность которой определяется возможностью сборщика вынести собранную продукцию, пока она не потеряла своих потребительских свойств, т. е. в среднем не далее 5...10 км от стоянки/остановки транспорта (автодороги, реки, железнодорожной станции). Вред пожаров для них нагляден, поэтому пропагандистско-воспитательная работа с ними может быть продуктивной [13].

*Рыболовы-любители* представляют угрозу для экологически ценной и продуктивной части лесного фонда — пойменного комплекса водохранимых зон. Такие виды пожаров трудно обнаружить вовремя и локализовать. Экологическая грамотность представителей этой группы и понимание степени ответственности невысоки, их организованность очень слабая, организованная профилактическая работа с ними не проводится.

*Охотники-любители* в населении Красноярского края составляют 1,7 %. Они регистрируются для получения права на использование оружия, состоят в обществах охотников и рыболовов (ООиР), охотятся на основании путевок, а в ряде случаев и лицензий, т. е. в целом с лесопожарной точки зрения это малоопасная подгруппа населения, которая является благоприятным объектом экологического просвещения.

*Дачники* создают опасность при сжигании мусора и травы на участках, примыкающих к лесным землям, больше интересуясь своим дачным участком, нежели лесом.

**Вторую** по потенциальной опасности группу населения составляют жители крупных и малых городов, поселков с населением численностью от 5 до 50 тыс. чел. Имеют большую степень связи с лесом, чем предыдущая первая группа. Практически те же социальные группы выделяются, что и в предшествующем типе, исключение составляет лишь отсутствие подгруппы сотрудников научных учреждений, которая немногочисленна

или отсутствует вовсе. В то же время, во второй группе выше доля группы профессиональных работников леса, и эта группа играет более выдающуюся роль в социальной жизни средних населенных пунктов, нежели в больших городах. Как правило, в нее входят, не только управленческие служащие, но и работающие непосредственно в лесу рабочие лесных фирм, заповедников, лесхозов, охотничьих хозяйств и т. д.

**Третью группу** составляют представители поселков и сел численностью 5 тыс. чел. и менее, которые имеют практически повседневно много связей с лесом, в которую входят следующие подгруппы: лесные рабочие, бизнесмены, управляющие/менеджеры, служащие, неорганизованные сборщики НПЛ с коммерческими целями, домохозяйки, пенсионеры, безработные, студенты, школьники. Эта группа с точки зрения лесопожарного дела является наиболее важной, поскольку жители небольших населенных пунктов Красноярского края, как правило, имеют тесные связи с лесом [14]. Поэтому, актуальность приобретает проблема привлечения сельского населения к предотвращению лесных пожаров. Данная группа подразделяется на следующие подгруппы:

*Лесные рабочие* прямо или косвенно связаны с непосредственной занятостью в лесу, включают в себя две подгруппы: 1) лица привлеченные из других регионов; 2) местные жители.

*Лица, привлеченные из других регионов* имеют главную цель — как можно больше заработать денег и вернуться в свои родные места. Это преимущественно социально пассивные граждане и подчиняются исключительно нанявшей их фирме. Данная подгруппа людей проблематична для привлечения ее к общей лесной активности.

*Местные жители* жизненно активны и обладают крепким самосознанием, однако озабочены сохранением работы, уровнем зарплаты и т. д. Доля молодежи мала в этой подгруппе, ее средний возраст около 40 лет. Большая часть из них рассматривает как постоянное место жительства свой населенный пункт. Они имеют собственное представление о лесной ситуации, но не демонстрируют его свободно в связи с высокой зависимостью от своих хозяев. Являются потенциальными участниками общественных лесных акций, но в рамках действующих законов.

*Бизнесмены* — хозяева малого, реже среднего местного бизнеса, большинство их представителей — мужчины. Их бизнес очень разнообразен (торговля, производство, услуги и т. п.), но большинство в качестве главного или одного из главных видов деятельности занимается лесным бизнесом. Очень подвижны, преимущественно местные жители, очень активны, используют

современные виды связи и транспорта и т. д. В своих оценках ситуации, как правило, независимы (как среды их бизнеса или жизни). Могут быть очень активны в соответствии со своей заинтересованностью в сохранении лесов или, наоборот, в лесозаготовках в общем и в отношении общественного лесопользования и лесопожарного дела в частности.

**Управляющие/менеджеры** представляют собой наиболее активную часть интеллектуальных, профессиональных поселковых сельских подгрупп, включающую в себя людей разных профессий, которые имеют различный уровень материального благосостояния, личного дохода и направление интересов, при этом состоит из двух групп: 1) менеджеры некоммерческих организаций; 2) менеджеры коммерческих фирм.

**Менеджеры некоммерческих организаций** представляют первые и вторые лица муниципальных администраций, больниц, лесхозов, школ и других организаций. Получая не очень высокую зарплату из муниципального или государственного бюджета, они нередко имеют побочные доходы, в том числе связанные с лесом. Обычно данная подгруппа, привержена рациональному использованию лесных ресурсов без угрозы их истощения и в нее входят представители общественного лесопользования [15].

**Менеджеры коммерческих фирм** имеют относительно высокий доход, источником которого в основном является использование природных ресурсов, и прежде всего лесозаготовки, поэтому представители этой группы заинтересованы в охране от лесных пожаров сырьевых баз их предприятий и обладают высоким потенциалом организации и проведения противопожарной профилактики.

**Служащие** — образованная часть населения. В эту группу входят учителя, врачи, конторские работники коммерческих фирм, почтовые работники, работники лесхозов среднего ранга и т. д., которые понимают природоохранные проблемы изнутри и не безразличны к ним. Некоторые из представителей подгруппы довольно активны в отношении проблем охраны лесов и природы вообще [16].

**Неорганизованные сборщики НПЛ с коммерческими целями** в социальном плане подгруппа разнообразная. Большая часть сборщиков НПЛ употребляют спиртные напитки и курят, что увеличивает риск возникновения лесных пожаров. Наивысшая активность таких сборщиков приходится на сентябрь и октябрь, апрель — июнь — наиболее пожароопасные месяцы.

Они представляют наибольшую пожароопасность, что требует особых подходов в проведении профилактических противопожарных мероприя-

тий, отличаются низким уровнем противопожарной осведомленности и экологической культуры. К этому можно добавить их агрессивность, как относящихся к маргинальным слоям общества — они могут устраивать преднамеренные поджоги для увеличения продуктивности лесных угодий по целевым видам НПЛ.

**Домохозяйки** имеют в сельских группах важное значение, поскольку среди сельского населения их доля больше, чем среди городского [17]. Домохозяйки получают большой объем информации из СМИ, которые в большой степени формируют их мнение и видение, и имеют свободный распорядок дня. Некоторые из них очень активны и оказывают большое влияние на представителей других социальных подгрупп — соседей или родственников, могут стать сторонниками общественного лесопользования, если правильно воздействовать на них с помощью СМИ и таких авторитетных людей, как учителя, работники администраций, и др.

**Пенсионеры** представляют в основном очень бедную часть населения, интересующуюся вопросами использования природных ресурсов и охраной природы в целом. Те из них, которые на бывшей работе были связаны с лесом, могут стать активистами общественного лесопользования.

**Безработные** — это социально неустойчивая, очень бедная подгруппа. Многие из ее представителей являются в разной степени алкоголиками. Сбор НПЛ часто служит одним из главных источников их доходов. К тому же подгруппа включает в себя мигрантов из крупных городов, которые потеряли там жилье и работу, главным образом вследствие недисциплинированности, пьянства и лени. Они не имеют естественных связей с лесом. Это — сложная и опасная для профилактической работы подгруппа.

**Студенты ВУЗов, колледжей и техникумов** приезжают в основном только на каникулы или для прохождения производственной практики. Большую часть времени живут в крупных и средних городах по месту учебы и по сути относятся к первой группе. Не имеют большого влияния на общественную жизнь, соответственно, уделяют мало своего времени общественным делам.

**Школьники** небольших поселков имеют те же характеристики, школьники относящиеся к первой группе и делятся на те же подгруппы, что и аналогичная группа в средних и крупных городах, но находятся в более естественных и тесных связях с лесом, чем городские школьники. Обычно их достаточно легко объединить вокруг природоохранных программ, поскольку воспитание происходит под сильным влиянием учителей и СМИ, особенно для реальных дел: организации школьных лесничеств и зеленых патрулей и пр.

В северных районах Красноярского края при проведении социальной группировки традиционно выделяют «аборигенный аспект», т. е. выделяют *группы коренных малочисленных народов Севера (КМНС)* [18]. При этом КМНС не являются однородной в социальном плане группой. Здесь социум формируется по таким же принципам, что и везде, т. е. с такими же социальными подгруппами, как и в других поселениях. Представители КМНС, исконно обладают более тесными связями с природой и лесом в частности, и определяет их поведение в лесу, основанное на соблюдении традиций, насыщенных охраняемыми элементами.

Посетителей леса можно условно подразделить на два типа: 1) находящиеся в лесу без производственной необходимости; 2) занятые в лесу производственной деятельностью.

К первому типу относятся пенсионеры, рекреанты, безработные домохозяйки. Их можно подразделить еще на три подтипа:

- часть населения, допускающая нарушение правил и возникновение пожаров по причине недостаточного знакомства с правилами пожарной безопасности в лесу;

- преобладающая часть населения, практически не создающая угроз возникновению пожаров, так как знакома с правилами пожарной безопасности в лесу и соблюдает их;

- часть населения, которая представляет большую угрозу для леса, так как пренебрегает соблюдением правил лесопожарной безопасности или преднамеренно нарушает их.

Ко второму типу относятся менеджеры, бизнесмены, представители экологических НПО, а также служащие и рабочие. Как указано выше, эти люди имеют определенный набор знаний о лесе и о поведении в нем, один раз в год, а то и чаще, проходят инструктаж по технике безопасности. Из них часть вовлечена в профилактику и тушение пожаров, а еще меньшая их часть организует непосредственно противопожарную работу.

Типы, названные выше, относятся к «условным» ввиду того, что некоторые из социальных групп в силу переходности и размытости не могут полностью принадлежать к одному из двух типов.

С представителями первого подтипа, у которых есть возможность выработать положительные лесопожарные навыки наиболее оправданы и целесообразны такие воспитательные акции, как создание кино и видео, плакатов о вреде, наносимом лесными пожарами, о причинах их возникновения и мерах профилактики и борьбы с ними. Организация широкого показа фильмов в кинотеатрах перед сеансами, клубах, детских лагерях, домах культуры и домах отдыха, санаториях, школах о вреде, наносимом растениям и животным, несомненно, выработает у населения

тягу к созиданию и сохранению лесных богатств и обитателей леса.

Работа с третьим подтипом заведомо мало-перспективна и очень трудна, но несмотря на то что должна проводиться по принципу «вода даже камень точит» [19].

Приведенные в настоящей статье сведения о социальных группах населения показывают необходимость и возможность дифференцирования подходов к привлечению местного населения в лесопожарное дело не только при прямом его участии в качестве активных или пассивных элементов воспитания и образования, лесопожарных профилактических действий и непосредственной борьбы с пожарами, но и при создании вокруг этого процесса общей благожелательной и подерживающей социальной среды.

В то же время привлечение к лесопроуправлению представителей различных групп и подгрупп населения создает конфликтную ситуацию, так как те, кто соглашается, а иногда и стремится участвовать в лесопроуправлении, имеют разные цели. Одни хотят охранить леса в рамках общей устойчивости лесов и природы в целом, другие — получить доступ к распоряжению лесными ресурсами для своего обогащения, и охрана лесов от пожаров для них лишь одна из конкретных мер, но не более того. Эта конфликтность и противоречивость заложены в отношении самого населения к лесным проблемам. Анализ и выработка мер по устранению конфликтности интересов различных социальных групп должны быть обязательной составляющей всех действий по привлечению населения в управление лесами.

Опрос населения, проведенный в 2018–2019 гг. в четырех районах Красноярского края, показал, что население в полной мере понимает важность общеэкологических и лесных проблем. Обязательной средой жизни лес признало 46 % ответивших на вопросы. Сегодняшнюю ситуацию в использовании и охране лесов они оценили, по 5-балльной системе, в среднем на 2,3 балла, т. е. «плохо». На первое место из семи факторов, наиболее влияющих на состояние лесов, поставили лесные пожары, т. е. признали самой главной проблемой настоящего времени. Оценка социальной структуры виновников пожаров оказалась достаточно близкой к приведенной выше оценке (см. рис. 2), но с поправкой на конкретные условия местности. Как следует из рис. 3, отдыхающие и неорганизованные туристы были поставлены на первое место, на второе место отнесены сборщики НПЛ, на третье — сотрудники предприятий, работающих в лесу. Вину в возникновении пожаров ответившие на вопросы отнесли на неорганизованных посетителей леса — на них числятся 72 % всех лесных пожаров [20, 21].

На вопрос о необходимости участия населения в управлении лесами всего 24 % ответили одобрительно, преимущественное большинство (74 %) ответили, что это дело не населения, а профессионалов.

Таким образом, налицо огромная социальная отрешенность населения от инициативных действий по наведению порядка в лесу. Близкие ответы получены на уточняющий вопрос: «Вы готовы лично участвовать в улучшении состояния лесов?», на них ответили 21 % опрошенных подтверждая свою готовность даже бесплатно участвовать в таких мероприятиях, за оплату — 44 % ответчиков, 34 % опрошенных отказались вообще от участия. О высокой пассивности населения свидетельствуют последние два ответа, которые в сумме составили 78 %.

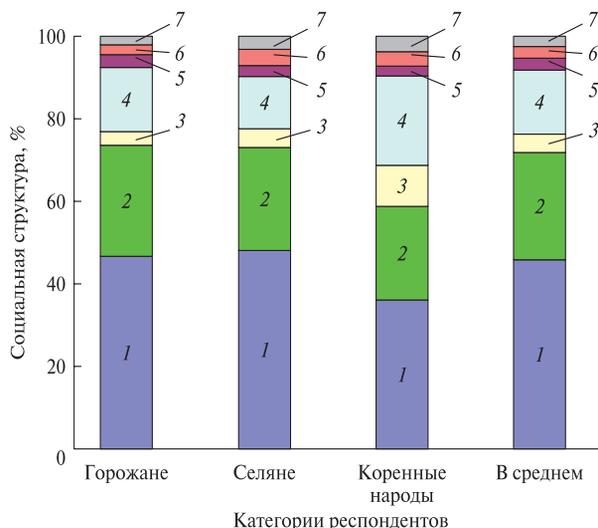
В отношении воспитания и информации: 93 % опрошенных признали важность для них лично информации о ситуации с лесами; 69 % опрошенных желали получить экологические знания дополнительно; 94 % считают, что при сегодняшней ситуации с горимостью лесов необходимо проводить специальное лесное воспитание населения. Относительно желательных форм воспитания предложения отвечавших оказались очень разными: лекции в аудиториях — 13 %, кинофильмы и видеопозаказы — 15, лекции через СМИ — 19, наглядная агитация — 21, уроки в классах — 26 [22].

Опросы показали, что наряду с экологической озабоченностью населения одновременно обнаружено незнание организационных основ охраны лесов населением: кому принадлежит ответственность за леса, кто должен их охранять, как это реализуется на практике.

Многие из перечисленных групп, ввиду отсутствия понимания и осознания не понимают, что поселок может выгореть из-за брошенной окурка сигареты или незатушенного костра, и поэтому халатно к этому относятся, не желая принимать участие в лесоправлении на безвозмездной основе или в связи с отсутствием интереса. Важно проводить больше социальной рекламы в СМИ и наглядно показывать, что лес живой, и его нужно беречь. Тогда на подсознательном уровне будет формироваться понимание всей опасности ситуаций способствующих воспламенению, и большее количество людей примут участие или, по крайней мере, станут осторожнее и бережнее относиться к лесу [23].

Проект комплексного подхода к работе с населением по предотвращению лесных пожаров и включает в себя три взаимосвязанных направления:

1) разработку и реализацию целевых и массовых просветительских кампаний по защите и охране лесов;



**Рис. 3.** Социальная структура виновников лесных пожаров в Красноярском крае: 1 — неорганизованные рекреанты; 2 — сборщики недревесных продуктов леса; 3 — работники экспедиций; 4 — работники лесных предприятий; 5 — охотники; 6 — другие группы; 7 — затрудняюсь ответить

**Fig. 3.** The social structure of the forest fires in the Krasnoyarsk Territory: 1 — unorganized recreants; 2 — collectors of non-timber forest products; 3 — expedition workers; 4 — employees of forestry enterprises; 5 — hunters; 6 — other groups; 7 — I find it difficult to answer

2) разработку противопожарной образовательной программы для детей дошкольного и школьного возраста;

3) обучение работников лесного хозяйства навыкам работы с населением.

Проведенные исследования показывают, следующее:

– население не достигло той стадии своего гражданского развития, уровня самостоятельной организации и благополучия, при которых оно без помощи других смогло бы защитить личные интересы, в том числе и в сфере предупреждения пожаров в лесных массивах;

– почти все некоммерческие объединения (НКО) и представители общественности уже сейчас готовы к проведению работ с жителями при ее координации властями и соответствующей денежной поддержке;

– организующие функции и финансовое обеспечение сегодня могут выполнять лишь муниципальные структуры либо мощные НКО;

– население недостаточно информировано о последствиях пожаров в лесных массивах и правилах поведения в лесу, нужна мотивированная работа с различными профессиональными группами, социальными и возрастными, в особенности плодотворна работа в данном направлении с молодежью и детьми;

– работа с жителями по профилактике пожаров в лесных массивах нуждается в определении лиц

и структур, которые ответственны за ее проведение и координацию, наличии правовой и нормативной базы, в разработке методики проведения профилактических мероприятий с жителями и в стабильном финансировании.

Значительное влияние на формирование у населения высокого уровня культуры отношения к лесам и соблюдения правил противопожарного режима могут оказывать школьные лесничества, которые необходимо создавать в системе лесного хозяйства. Школьному лесничеству должна отводиться роль общественного добровольного эколого-образовательного объединения учащихся, направленного на проведение пропаганды знаний о природе в целом, на приобщение детей и подростков к бережному отношению к лесу, на профессиональную ориентацию школьников.

Необходимо проводить регулярную работу по охране лесов с детьми начиная с дошкольных учреждений, начальной школы и не просто рассказывать, но и наглядно показывать, учитывая возраст, фильмы, мультфильмы с мест пожара. Именно видеоматериал наиболее эффективно доводит до сознания людей наглядную информацию, о страданиях и гибели животных, леса, о выгорании целых поселков. Тогда многие смогут навсегда запомнить правила и никогда больше не станут разводить костры и играть с огнем в лесу [24, 25].

## Выводы

Проведенный анализ и полученные данные показали отношение населения к лесным пожарам, наличие больших социальных различий между разными группами и больших проблем по предоставлению информации, плохую организацию целенаправленной пропаганды и просвещения в вопросах управления лесами и непосредственно по охране лесов.

1. Социальные группы населения могут и должны стать ключевыми при организации участия населения в лесопожарном деле, и здесь основное внимание должно быть уделено таким группам, как школьники, особенно старшие, учащиеся колледжей и вузов, преподаватели, научные работники и лесники-профессионалы. Не менее важно получить поддержку этого движения от бизнесменов и управляющих коммерческими фирмами, сотрудниками государственного управления.

2. Лесопожарную пропаганду следует вести в направлении взаимодействия человека с лесом, с формированием у населения более глубоких знаний о лесе, обеспечения выполнения требований пожарной безопасности в лесу и необходимости активных действий по охране леса.

3. Информация по лесопожарной пропаганде должна быть оперативной, целенаправленной по конкретно сложившейся пожарной обстановке

и для конкретной категории населения, соответствовать времени года, содержать конкретные факты. Печатные издания, должны быть привлекательными, выразительными, отражать конкретную смысловую нагрузку и образными.

4. Пропаганда должна проводиться непрерывно в течение всего года и усиливаться в пожароопасный сезон, особенно перед и непосредственно при наступлении высокой пожарной опасности по условиям погоды. Для проведения лесопожарной пропаганды должны в первую очередь использоваться такие средства массовой информации, как интернет, радио, печать, кино, телевидение и др.

## Список литературы

- [1] Методики социально-психологического исследования личности и малых групп / отв. ред. А.Л. Журавлев, Е.В. Журавлева. М.: Институт психологии РАН, 1995. 196 с.
- [2] Бердникова Л.Н. Охрана лесов от природных пожаров в национальном парке «Шушенский бор» // Современные проблемы землеустройства, кадастров и природообустройства: материалы национальной науч. конф., Красноярск, 17 мая 2019 г. Красноярск: Изд-во Красноярского ГАУ, 2019. 331 с.
- [3] Орловский С.Н. Борьба с лесными, степными и торфяными пожарами. ФРГ: LAP LAMBERT Acad. Publ., 2016. 493 с.
- [4] Рудестам К. Групповая психотерапия. Психокоррекционные группы: теория и практика. М.: Прогресс, 1990. С. 23–24, 54–55.
- [5] Рукавишников А.А. Опросник межличностных отношений. Ярославль: Психодиагностика, 1992. 47 с.
- [6] Уманский Л.И. Методы экспериментального исследования социально-психологических феноменов // Методология и методы социальной психологии. М.: Наука, 1977. С. 54–74.
- [7] Ялом И. Теория и практика групповой психотерапии. СПб.: Питер, 2000. С. 20–37.
- [8] Кричевский Р.Л., Дубовская Е.М. Социальная психология малой группы. М.: Аспект Пресс, 2001. 318 с.
- [9] Журавлев А.Л. Динамика социально-психологических явлений в изменяющемся обществе. М.: Институт психологии РАН, 1996. 225 с.
- [10] Донцов А.И. Психология коллектива. М.: Изд-во МГУ, 1984. 208 с.
- [11] Журавлев А.Л. Совместная деятельность как объект социально-психологического исследования // Совместная деятельность: методология, теория, практика. М.: Наука, 1988. С. 19–36.
- [12] Карнаухова А.И. Лесопожарный агрегат с торцевой фрезой. Концепция энергосбережения. Красноярск: СибГТУ, 2011. 219 с.
- [13] ГОСТ 12.1.007–76 Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности. М.: Госкомитет СССР по стандартам, 1984. 5 с.
- [14] Кухар И.В., Орловский С.Н., Бердникова Л.Н., Мартыновская С.Н., Коршун В.Н., Карнаухова А.И. Влияние опасных и вредных факторов лесных пожаров на окружающую среду // Хвойные бореальной зоны, 2019. Т. 37. № 5. С. 307–312.
- [15] 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.
- [16] Холщевников В.В., Самошин Д.А. Эвакуация и поведение людей при пожарах. М.: Академия ГПС МЧС России, 2009. 212 с.
- [17] Кочунас Р. Психологическое консультирование и групповая психотерапия. М.: Академический проект, 2008. С. 265–275, 402–405.
- [18] 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. Лесниково: Изд-во Курганской государственной сельскохозяйственной академии им. Т.С. Мальцева, 2020. С. 561–565.
- [19] Козаченко М.А. Лесные пожары и борьба с ними. Саратов: Изд-во Саратовского ГАУ, 2013. 200 с.
- [20] Воронцов А.Л., Щетикский Е.Л., Никодимов И.Д. Охрана природы. М.: Агропромиздат. 1989. С. 101–298.
- [21] Зинов Г.И. Наземная охрана лесов от пожаров // Охрана лесов от пожаров. М.: Лесная пром-сть., 1984. С.43–89.
- [22] Лесные пожары в России. Статистика и антирекорды URL: <https://tass.ru/info/6712527> (дата обращения 24.03.2020).
- [23] Козаченко М.А. Мониторинг лесных пожаров. Саратов: Изд-во Саратовского ГАУ, 2014. 31 с.
- [24] Работа с населением по предотвращению лесных пожаров / под ред. Е.П. Кузьмичева. М.: Алекс, 2005. 128 с.
- [25] Статистика лесных пожаров URL: <https://opozhare.ru/posledstviya/statistika-lesnyh-pozharov> (дата обращения 24.09.2020).

## 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 26.10.2020.

Принята к публикации 31.03.2021.

## WORK WITH CITIZENS ON PREVENTING FOREST FIRES

**L.N. Berdnikova**

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

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

A socio-demographic analysis of the main goals of visiting forests located near settlements by the Krasnoyarsk citizens has been carried out. The data on the division of the forest fires classified by age, gender and place of residence are presented. The ratio of citizens who prefer this type of recreation and those who go to the forest for the purpose of harvesting forest non-timber products has been determined. A classification of the population has been developed for settlements of different numbers of inhabitants. Information has been collected on local social groups of the population in order to involve them in forest fires not only for direct participation, but also for carrying out fire-preventive measures.

**Keywords:** forest fire, population, forest, fire, social groups, events, forest fire propaganda

**Suggested citation:** Berdnikova L.N. *Rabota s naseleniem po preduprezhdeniyu pozharov v lesu* [Work with citizens on preventing forest fires]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 4, pp. 59–68.

DOI: 10.18698/2542-1468-2021-4-59-68

## References

- [1] *Metodiki sotsial'no-psikhologicheskogo issledovaniya lichnosti i malykh grupp* [Methods of socio-psychological research of personality and small groups]. Eds. A.L. Zhuravlev, E.V. Zhuravleva. Moscow: Institute of Psychology RAS, 1995, 196 p.
- [2] 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»]. *Sovremennye problemy zemleustroystva, kadastrav 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.
- [3] Orlovskiy S.N. *Bor'ba s lesnymi, stepnymi i torfyanyimi pozharami* [Fighting forest, steppe and peat bog fires]. Germany: LAP LAMBERT Acad. Publ., 2016, 493 p.
- [4] Rudestam K. *Gruppovaya psikhoterapiya. Psikhokorreksiionnye gruppy: teoriya i praktika* [Group psychotherapy. Psychocorrectional groups: theory and practice]. Moscow: Progress, 1990, pp. 23–24, 54–55.
- [5] Rukavishnikov A.A. *Oprosnik mezhlichnostnykh otnosheniy* [Interpersonal relations questionnaire]. Yaroslavl: Psikhodiagnostika [Psychodiagnosics], 1992, 47 p.
- [6] Umanskiy L.I. *Metody eksperimental'nogo issledovaniya sotsial'no-psikhologicheskikh fenomenov* [Methods of experimental research of social and psychological phenomena]. *Metodologiya i metody sotsial'noy psikhologii* [Methodology and methods of social psychology]. Moscow: Nauka, 1977, pp. 54–74.
- [7] Yalom I. *Teoriya i praktika gruppovoy psikhoterapii* [Theory and practice of group psychotherapy]. St. Petersburg: Peter, 2000, pp. 20–37.

- [8] Krichevskiy R.L., Dubovskaya E.M. *Sotsial'naya psikhologiya maloy gruppy* [Social psychology of a small group]. Moscow: Aspect Press, 2001, 318 p.
- [9] Zhuravlev A.L. *Dinamika sotsial'no-psikhologicheskikh yavleniy v izmenyayushchemsya obshchestve* [Dynamics of social and psychological phenomena in a changing society]. Moscow: Institute of Psychology RAS, 1996, 225 p.
- [10] Dontsov A.I. *Psikhologiya kollektiva* [Team psychology]. Moscow: Moscow State University, 1984, 208 p.
- [11] 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.
- [12] Karnaukhov A.I. *Lesopozharnyy agregat s tortsovoy frezoy. Kontseptsiya energosberezheniya* [Forest fire unit with end mill. Energy saving concept]. Krasnoyarsk: Siberian State Technological University, 2011, 219 p.
- [13] GOST 12.1.007–76 *Vrednye veshchestva. Klassifikatsiya i obshchie trebovaniya bezopasnost* [Harmful substances. Classification and general safety requirements]. Moscow: State. USSR Committee for Standards, 1984, 5 p.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] Kholshchevnikov V.V., Samoshin D.A. *Evakuatsiya i povedeniye 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.
- [17] Kochunas R. *Psikhologicheskoe konsul'tirovaniye i gruppovaya psikhoterapiya* [Psychological counseling and group psychotherapy]. Moscow: Academic project, 2008, pp. 265–275, 402–405.
- [18] Orlovskiy S.N., Berdnikova L.N. *Vybor optimal'nykh tekhnologiy tusheniya lesnykh pozharov v Mininskom lesnichestve Krasnoyarskogo kraya* [The choice of optimal technologies for extinguishing forest fires in the Mininsky forestry of the Krasnoyarsk Territory]. *Prioritetnyye 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.
- [19] Kozachenko M.A. *Lesnye pozhary i bor'ba s nimi* [Forest fires and fighting them]. Saratov: Saratov GAU, 2013, 200 p.
- [20] Vorontsov A.L., Shchetikskiy E.L., Nikodimov I.D. *Okhrana prirody* [Protection of Nature]. Moscow: Agropromizdat, 1989, pp. 101–298.
- [21] 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.
- [22] *Lesnye pozhary v Rossii. Statistika i antirekordy* [Forest fires in Russia. Statistics and anti-records]. Available at: <https://tass.ru/info/6712527> (accessed 24.03.2020).
- [23] Kozachenko M.A. *Monitoring lesnykh pozharov* [Monitoring of forest fires]. Saratov: Saratov State Agrarian University, 2014, 31 p.
- [24] *Rabota s naseleniem po predotvrashcheniyu lesnykh pozharov* [Work with the population to prevent forest fires]. Ed. E.P. Kuzmichev. Moscow: Alex, 2005, 128 p.
- [25] *Statistika lesnykh pozharov* [Statistics of forest fires]. Available at: <https://opozhare.ru/posledstviya/statistika-lesnykh-pozharov> (accessed 24.09.2020).

## 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 26.10.2020.

Accepted for publication 31.03.2021.

## ФОРМИРОВАНИЕ ПРЕДМЕТНО-ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СРЕДЫ ДЕТСКИХ ИГРОВЫХ ПЛОЩАДОК В Г. МОСКВЕ

А.И. Довганюк

ФГБОУ ВО РГАУ–МСХА имени К.А. Тимирязева, 127550, Москва, ул. Тимирязевская, д. 49

alexadov@rgau-msha.ru

Представлен анализ предметно-пространственной среды детских игровых площадок. Выделено их особое значение в формировании комфортной, устойчивой и безопасной среды для детей. Указана важность подбора игрового оборудования для детских площадок не только исходя из его наличия и доступности, но и исходя из возрастных особенностей восприятия среды ребенком. Предложена схема использования различных типов детского игрового оборудования в зависимости от возраста ребенка (типа игры ребенка). Выявлены причины отсутствия интереса детей (4–7 лет) к установленному игровому оборудованию и их предпочтения. Проанализирована предметно-пространственная среда на примере 20 детских площадок района Марьино г. Москвы. Рассмотрены принципы подбора оборудования в соответствии с возрастной категории ребенка, и проблемы пространственного размещения этого игрового оборудования, предназначенного для детей разного возраста, на игровой площадке. **Ключевые слова:** детские игровые площадки, предметно-пространственная среда, тип игрового оборудования, возрастные особенности игры, игра, игровые площадки

**Ссылка для цитирования:** Довганюк А.И. Формирование предметно-пространственной среды детских игровых площадок в г. Москве // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 4. С. 69–76.  
DOI: 10.18698/2542-1468-2021-4-69-76

Комфортная, устойчивая и безопасная среда (КУБ-среда) ребенка предполагает реализацию трех основных принципов: обучения, оздоровления и игры [1]. Любой объект ландшафтной архитектуры, предназначенный для ребенка, должен в своей структуре предусматривать такие компоненты, которые будут способствовать наиболее комфортному обучению и оздоровлению ребенка, в том числе через игру. Особое внимание необходимо уделить проектированию и наполнению предметно-пространственной и визуальной среды специализированных территорий, предназначенных для детей [2]. Одной из таких территорий является специализированная детская игровая площадка.

Детская игровая площадка — это важный объект предметно-развивающей среды [3]. Детская игровая площадка представляет собой «специально оборудованную территорию, предназначенную для отдыха и игры детей» [4–7]. Обязательными ее элементами являются как оборудование и покрытия, так и элементы благоустройства. При этом комплект оборудования и взаимное расположение объектов на площадке имеют важное значение в формировании комфортной предметно-пространственной среды для ребенка.

В России первые общественные детские площадки были созданы в Москве в 1895 г. Функциями этих площадок были не только физическое воспитание, но и образование, а также моральное развитие детей. Под руководством педагогов на площадках дети играли в подвижные игры, расширяли свой кругозор, участвовали в занятиях по рисованию, лепке, шитью и т. д. Игра всегда

занимала и занимает в наши дни очень важное место в формировании личности ребенка [8].

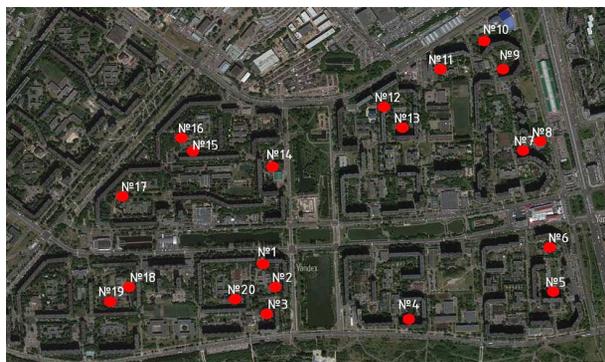
Детское игровое оборудование, устанавливаемое на детской игровой площадке, не всегда соответствует пожеланиям и возрастным особенностям ребенка. Его перечень слишком краток и не позволяет развивать способности и навыки детей в полной мере [9]. Это обусловлено влиянием таких факторов, как отсутствие научно-обоснованных рекомендаций по подбору детского игрового оборудования и взаимному расположению его на территории площадки.

### Цель работы

Цель работы — анализ предметно-пространственной среды детских игровых площадок, расположенных в г. Москве, с учетом возрастных особенностей детей, разработка рекомендации по использованию детского игрового оборудования различных типов [4–7] для использования на игровых площадках, предназначенных для детей разного возраста, выявление предпочтений ребенка по подбору игрового оборудования и организации среды детской игровой площадки.

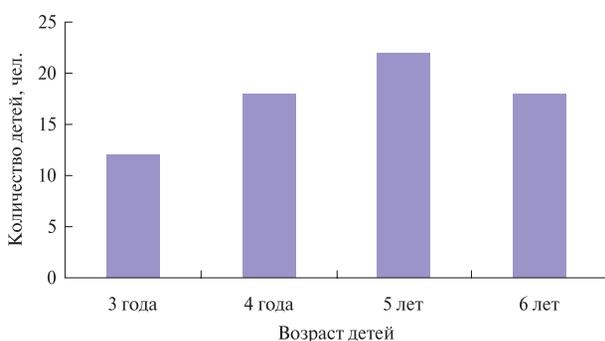
### Объекты исследования

Объекты исследования располагались в районе Марьино по адресам: Новочеркасский бульвар, д. 30; д. 28; д. 57; д. 1, стр. 2; д. 12; Батайский проезд, д. 29, стр. 2; д. 39; д. 59; д. 27, стр. 2; д. 13 (№ 20); Люблинская ул., д. 118; д. 112; д. 100; ул. Перерва, д. 50, стр. 2; д. 38; д. 26, д. 34, стр. 2; ул. Маршала Голованова, д. 12, корп. 1; Донецкая ул., д. 3; д. 23 (рис. 1).



**Рис. 1.** Схема расположения объектов исследования в районе Марьино г. Москвы

**Fig. 1.** Layout of the studied objects in the Maryino area of Moscow



**Рис. 2.** Возрастной состав интервьюируемых детей

**Fig. 2.** The age composition of the interviewed children

На детских площадках было проведено натурное исследование, включающее сплошной перебор всего имеющегося детского игрового оборудования.

## Материалы и методы

Проведение социологического опроса осуществлялось на территории Гончаровского парка — филиала Лианозовского парка в Бутырском районе СВАО г. Москвы. В фокус-группу вошло 70 детей (до 7 лет), регулярно посещающих расположенную в парке детскую площадку. Беседа с детьми велась с разрешения сопровождающих их взрослых (родителей).

В фокус-группу вошло 33 девочки и 37 мальчиков (рис. 2).

Основные вопросы касались частоты посещения детской площадки, предпочитаемого типа игрового оборудования и пожеланий ребенка к дальнейшему обустройству детской площадки (составу игрового оборудования).

## Результаты и обсуждение

Важнейшей особенностью формирования не только комфортной, но и интересной для ребенка предметно-пространственной среды на детской площадке является ее наполнение, соответствующее

возрастному периоду его развития. Выделяют несколько основных возрастных периодов, в которые изменяется тип взаимодействия ребенка с окружающей средой [10]. Дети от 1 до 3-х лет реализуют сенсорный и сенсорно-моторный сценарии игры. Дети от 3 до 7 лет — предпочитают ролевой сценарий. От 7 до 12 лет — сюжетные игры с элементами спортивных состязаний. Именно с этими возрастными особенностями должно быть связано наполнение детской игровой площадки. Кроме того, восприятие ландшафта детьми разного возраста различается [11].

К сожалению, в настоящее время в России в нормативно-правовых документах нет полной классификации детского игрового оборудования. Комплект документов 2012–2013 гг. включает в себя требования, предъявляемые к горкам, качалкам, каруселям и качелям [4–7]. В 2019 г. были приняты государственные стандарты, затрагивающие только такое игровое оборудование, как горки, канатные дороги, карусели и качалки. Другие виды детского игрового оборудования в действующих нормативно-правовых документах не упоминаются.

В работе предпринята попытка классифицировать используемое на детских игровых площадках оборудование по возможности его использования в различных сценариях (типах) игр детей в разные возрастные периоды (таблица).

Дети от 1 до 3-х лет реализуют познавательную функцию своей деятельности [12]. Они учатся, осваивают новые пространства, повторяя действия родителей (взрослых). Детская игровая площадка для детей этого возраста должна быть наполнена познавательными элементами различных форм, цветов и звуков — как движущихся, так и стационарных. В этом возрасте деятельность ребенка не предполагает взаимодействия с другими детьми, поэтому граница игровой зоны должна быть четко определена. В противном случае ее можно реализовать как отдельную игровую площадку вне общей игровой зоны детей более старшего возраста. Необходима пространственная изоляция зоны сенсорных и сенсорно-моторных игр, в том числе с помощью ландшафтных методов.

Оборудование детских игровых площадок, предполагающего сенсорные или сенсорно-моторные игры составляют простые качели, карусели и качалки, предполагающие возможность качания одного ребенка. Среди не выделенного отдельно в нормативно-правовых документах оборудования следует упомянуть песочницы и детские домики (или иные строения). Данное оборудование должно предполагать разные сценарии его использования. Важно по возможности задействовать все органы чувств ребенка для

### Виды игрового оборудования и возможность их использования в различных сценариях (типах) игр детей

#### Types of play equipment and the possibility of using them in various scenarios (types) of children's games

Оборудование	Сенсорная и сенсорно-моторная игра	Ролевая игра	Сюжетная игра
Детский игровой и спортивный комплекс	–	+	+
Домик (паровозик, вагончик, цистерна и т. п.)	+	+	–
Песочница	+	+	–
Горка	+	+	–
Качели (классификация по ГОСТ Р 52167–2012 в соответствии с ГОСТ 34614.2–2019)			
С одной осью вращения (тип 1)	+	–	–
С несколькими осями вращения (тип 2)	–	+	–
С одной точкой крепления (тип 3)	–	+	–
Коллективные качели (тип 4)	–	+	–
Карусель (классификация по ГОСТ Р 52300–2013 в соответствии с ГОСТ 34614.5–2019)			
Вращающиеся сидения (тип А)	–	+	–
Классическая карусель (тип В)	+	+	–
Вращающиеся грибки (тип С)	–	+	–
Карусель, движущаяся по направляющей (тип Д)	–	+	–
Большой вращающийся диск (тип Е)	–	+	+
Качалка (классификация по ГОСТ Р 52299-2013)			
Качалка-балансир (тип 1)	–	+	–
Качалка с одной опорой (тип 2)	+	–	–
Качалка с несколькими опорами (тип 3)	+	+	–
Шатунная качалка (тип 4)	+	+	–
Качалка с вращением вокруг центральной оси (тип 5)	–	+	–
Качалка с одной осью качания, расположенной на высоте (тип 6)	–	–	–

исследовательской деятельности. Необходимо применять различные материалы по фактуре и цвету для реализации исследовательской сенсорной игры ребенка. Возможно использование «звуковых» игровых тренажеров. Устанавливать дополнительные игровые элементы — движущиеся или вращающиеся в одной или нескольких плоскостях: кольца, веревки, шары для реализации моторной игры ребенка.

У детей от 4 до 7 лет преобладает интерес к социальному взаимодействию с другими детьми [12]. Преобладают ролевые игры, предусматривающие взаимодействие с другими участниками, в том числе посредством специализированного оборудования детской игровой площадки. В этом возрасте ребенок уже способен абстрагироваться от функции предмета, наделять его иными свойствами и функциями в зависимости от игры. Ролевые игры наиболее эффективны для развития инициативы и творчества ребенка.

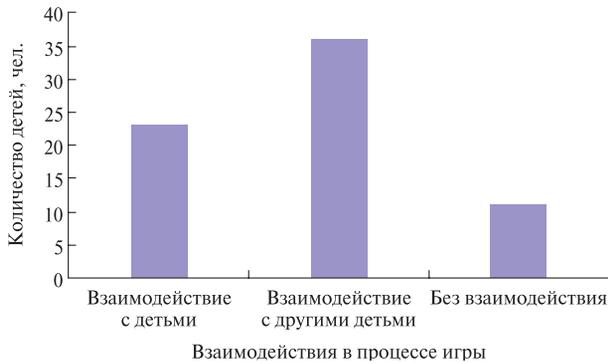
Для осуществления детских ролевых игр требуется установка иного игрового оборудования, с элементами, предназначенными не для одного ребенка, а для группы детей, в частности коллективные качели, карусели, качалки. Актуальны песочницы, простые детские игровые комплексы. Подвижные элементы (ставни в игровых домиках, легко перемещаемые по территории площадки

элементы и прочие) будут способствовать развитию инициативы, а наличие специализированных плоскостей для рисования мелом — развитию художественного вкуса, творческих способностей, а также более сложному изложению правил ролевой игры с использованием схем и рисунков.

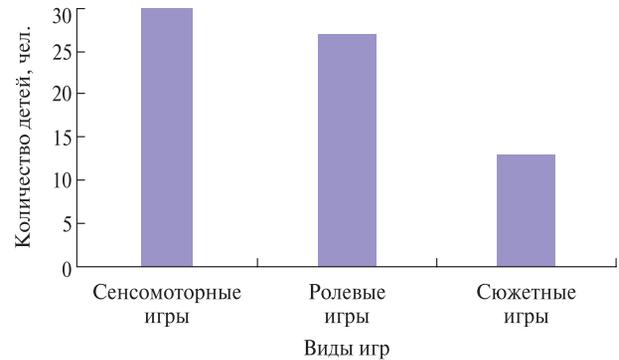
В возрасте 7–12 лет важное значение приобретают спортивные игры, с соревновательной составляющей [13]. Кроме того, необходимо игровое оборудование для экспериментальных игр с заранее неизвестным результатом. У детей в этом возрасте выражена способность взаимодействовать не только в рамках «ролей» (ролевой игры), но и по единым правилам, обязательным для всех участников в рамках сюжетной игры. Таким образом, на детской игровой площадке следует устанавливать оборудование, предполагающее совместные исследовательские проекты, спортивные и сюжетные взаимодействия.

Спортивные и сюжетные игры можно реализовать с помощью сложных многофункциональных игровых комплексов.

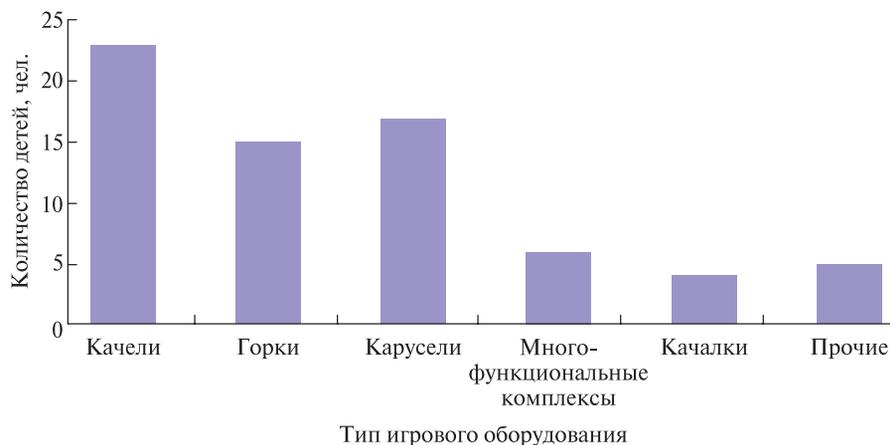
Перечисленные рекомендации разработаны исходя из психологического портрета детей рассматриваемых возрастных групп. Они соответствуют пожеланиям детей. Это в полной мере подтвердили результаты социологического исследования.



**Рис. 3.** Преимущественные взаимодействия детей в процессе игры  
**Fig. 3.** Preferential interactions of children during the game



**Рис. 4.** Виды игры на детской площадке  
**Fig. 4.** Types of game on the playground



**Рис. 5.** Преимущественное использование детского игрового оборудования  
**Fig. 5.** Preferential use of children's play equipment

Социологическое исследование было проведено на детской игровой площадке в Гончаровском парке г. Москвы. На ней размещены горки, качели (одиночные и групповые), качалки (балансиры), карусели, детские игровые многофункциональные комплексы и спортивное оборудование (структура для лазания, брусья).

Младшие дети в возрастной группе 4–7 лет предпочитают социальное взаимодействие с родителями, старшие — с остальными детьми. Менее 20 % детей предпочитают играть в одиночку (рис. 3).

Проведенное социологическое исследование показало, что дети на площадке проявляют самую разную активность. Большинство из них (почти 80 %) предпочитают сенсомоторные игры, как с социальным взаимодействием, так и или без него (рис. 4). Старшие по возрасту дети фокус-группы выбирали сюжетные игры с определенными правилами (20 %).

В дополнение к полученным результатам отметим, что представляют интерес также особенности того или иного игрового оборудования на детской игровой площадке и продолжительность его использования (рис. 5).

Таким образом, дети от 4 до 7 лет предпочитают качели, горки и карусели, во время игры они преимущественно осуществляют социальное взаимодействие друг с другом.

Вместе с тем «идеальная» детская площадка должна быть наполнена иными игровыми элементами. Ведущие проектировщики детских игровых площадок Г. Агде, А. Нагель и Ю. Рихтер, в книге «Проектирование игровых площадок», утверждают и задают ориентир на будущую перспективу, объясняя, что такое детская площадка и какой она должна быть. Они отмечают, несоответствие в понимании функции детской площадки у взрослых и детей [14].

Большинство детей отмечали, что игры на улице, а не на детской площадке, гораздо более интересны и познавательны. Уточняли, что хотели бы на детской площадке иметь возможность играть с водой и песком, лазать по деревьям, прыгать на батуте и использовать различные механизмы. При этом тема игры с водой была озвучена неоднократно. Кроме того, в числе игрового оборудования были названы рвы (водоканалы) с мостиками и водными устройствами (плотинами,



Рис. 6. Водные устройства на променаде оз. Кабан (г. Казань)

Fig. 6. Water devices on the promenade of the lake Kaban (Kazan)

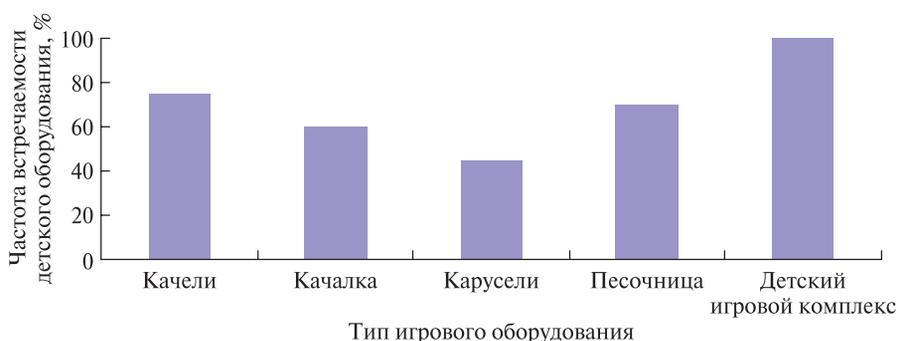


Рис. 7. Частота встречаемости детского игрового оборудования на детских игровых площадках района Марьино г. Москвы

Fig. 7. Prevalence of children's play equipment at children's playgrounds in the Maryino district of Moscow

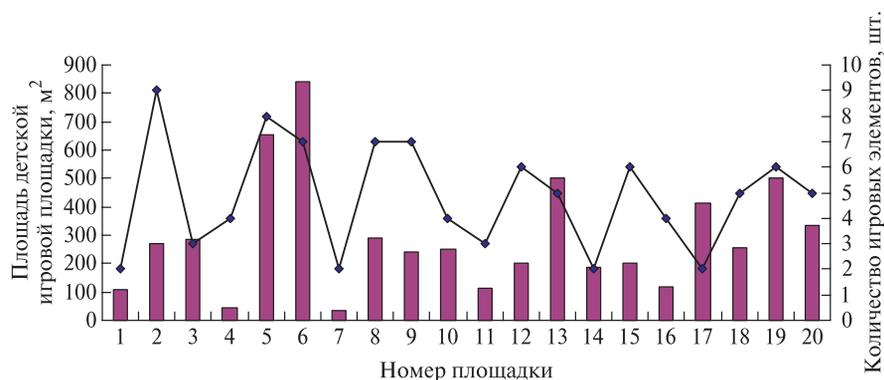


Рис. 8. Площадь и количество игрового оборудования на детских игровых площадках № 1–20

Fig. 8. Area and number of play equipment on children's playgrounds No. 1–20

насосами и пр.). Аналогичные водные устройства установлены в г. Казани при реконструкции набережной озера Кабан (рис. 6).

По мнению респондентов, предметно-пространственная среда площадки должна быть организована с учетом наличия замкнутых пространств (навесов, домиков и пр.) с возможностью рисовать на горизонтальных и вертикальных поверхностях. Озеленение детской площадки должно быть также вовлечено в игру.

Отсутствие возможности реализовать указанные детьми интересные им задачи приводит к использованию детского игрового оборудования не по назначению. Более 30 % опрошенных нами детей использовали оборудование «не по инструкции», в частности как поднимались по наклонной горке вверх, прыгали с движущейся карусели и с разнообразных «лазательных» приспособлений.

Вместе с тем используемое игровое оборудование на расположенных во внутриворотовых тер-

риториях детских площадках, отличается весьма скудным ассортиментом и не соответствует не только пожеланиям детей, но и их возрастным особенностям.

Нами был проведен анализ предметно-пространственной среды детских игровых площадок района Марьино в г. Москва. На площадках представлены следующие виды игрового оборудования: качели; качалка; карусель; песочница; детский игровой комплекс (рис. 7).

Чаще всего на детских площадках установлены песочницы, детские игровые комплексы и качели. Реже встречаются качалки и карусели, отсутствуют горки. Однако горки входят в конструктив игровых детских комплексов, которые представлены на всех исследуемых площадках.

На каждой детской площадке установлены такие элементы комплексного благоустройства детских площадок: мягкий вид покрытия (резиновая крошка), урны для мусора, скамьи.

К сожалению, оборудование на указанных детских игровых площадках расположено хаотично, без учета возраста детей. Только на 30 % площадок зафиксировано наличие оборудования строго по категориям: от 3 до 7 лет. Таким образом, оказались не учтены сценарии (типы) игры и соответствующее им игровое оборудование, характерные каждому возрастному периоду (см. таблицу).

На 12 из 20 детских площадках установлены информационные таблички, на которых указаны правила пользования специализированным оборудованием, однако без учета возрастных требований.

Не определено возрастное зонирование территории площадок. Отсутствуют оригинальные элементы предметно-пространственной среды, позволяющие развивать все виды творчества ребенка. Установленное оборудование не способствует развитию ролевых и сюжетных игр. Таким образом, можно утверждать, что площадки выполнены лишь как обязательный элемент благоустройства города и не могут способствовать образованию и моральному воспитанию детей (рис. 8).

Детские площадки имеющие площадь менее 70 м<sup>2</sup> составляют 10 %, что не соответствует требованию МГСН 1.02–02 [17], и практически все площадки (более 80 %), относимые к мультивозрастным согласно установленному игровому оборудованию, также не соответствуют требованиям по общей площади. Таким образом, пространственная организация детских площадок также не соответствует не только требованиям ребенка по взаимному расположению и наполнению предметной среды игровым оборудованием, но и по его размещению на территории.

## Выводы

В работе наглядно показано, что формирование комфортной, устойчивой и безопасной среды для ребенка должно быть основано на психосоматических особенностях его роста и развития. В каждый возрастной период происходит изменение мировосприятия ребенка, и расширяются методы его взаимодействия с окружающей средой. Игра является краеугольным камнем, обеспечивающим полное и всестороннее развитие ребенка. Сначала это сенсорная игра, постепенно переходящая к моторной, ролевой и, наконец, сюжетной игре. По ходу этого процесса, ребенок взрослеет, и каждый раз по-новому осознает себя. Существенное значение для формирования ребенка играет детская игровая площадка и созданная на ней предметно-пространственная среда. Игровое оборудование и его взаимное расположение на детской игровой площадке должны соответствовать типу игры ребенка и его возрасту. В настоящий момент предметно-пространственная среда детских площадок района Марьино не соответствует не только пожеланиям ребенка, но и действующим нормативно-правовым документам. Созданные детские площадки формальны, расположенное там игровое оборудование не вызывает у ребенка активного желания играть с ним. И, следовательно, не возникает предпосылок для формирования молодой творческой личности.

Необходимо больше вовлекать в проектную деятельность детей, размещая на детских площадках игровое оборудование с учетом их пожеланий и особенностей игры, реализуемой в данной возрастной категории. Таким образом, будут созданы детские площадки, совмещающие безопасность использования и развитие творческого потенциала детей. Необходимо тщательно дифференцировать и зонировать площадки в зависимости от возраста ребенка и типа игры. Использовать для этого такие ландшафтные принципы, как установка ограждений (из живых растений или неживых элементов), рисунок на покрытии, вертикальное планирование территории — создание холмов и понижений.

На детских площадках, предназначенных для детей в возрастной групп от 1 до 3-х лет необходимо предусмотреть размещение таких элементов, которые позволят ребенку познавать мир максимально большим количеством органов чувств — зрением, слухом, тактильно. Большую роль должен играть такой компонент, как озеленение детской площадки. Установка элементов, предусматривающих исследовательскую составляющую (для детей 4–7 лет) как одиночно, так и в группах будет способствовать их творческому росту и социализации.

## Список литературы

- [1] Довганюк А.И. Ландшафт ребенка // Доклады ТСХА. Вып. 293. М.: Издательство РГАУ–МСХА, 2021. С. 96–99.
- [2] Довганюк А.И., Скабёлкина О.А. Проблемы детского восприятия визуальной среды мегаполиса // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 3. С. 97–101. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-3-97-101
- [3] Грашин А.А. Дизайн детской развивающей предметной среды. М.: Архитектура-С, 2008. 296 с.
- [4] ГОСТ Р 52167–2012 Оборудование и покрытия детских игровых площадок. Безопасность конструкции и методы испытаний качелей. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200098412> (дата обращения 17.10.2020).
- [5] ГОСТ Р 52168–2012. Оборудование и покрытия детских игровых площадок. Безопасность конструкции и методы испытаний горок. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200096282> (дата обращения 17.10.2020).
- [6] ГОСТ Р 52300–2013 Оборудование и покрытия детских игровых площадок. Безопасность конструкции и методы испытаний каруселей. Общие требования. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200104305> (дата обращения 17.10.2020).
- [7] ГОСТ Р 52299–2013 Оборудование и покрытия детских игровых площадок. Безопасность конструкции и методы испытаний качалок. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200104303> (дата обращения 17.10.2020).
- [8] Фребель В.А. Будем жить для своих детей. М.: Издательский дом «Карпуз», 2000. 287 с.
- [9] Фаина Н.В., Довганюк А.И. К вопросу о соответствии детского игрового оборудования возрастной категории ребенка (на примере детских площадок района Марьино г. Москвы) // Вестник ландшафтной архитектуры, 2019. Вып. 19. С. 76–81
- [10] Крайг Г. Психология развития. СПб: Питер, 2000. 992 с.
- [11] Сухова Е.С., Довганюк А.И. Восприятие ландшафта детьми школьного и дошкольного возраста и особенности озеленения и благоустройства учреждений образования и здравоохранения // Доклады ТСХА, Вып. 284-1. М.: Изд-во РГАУ–МСХА, 2012. С. 567–570.
- [12] Петрановская Л.В. Тайная опора: привязанность в жизни ребенка. М.: АСТ, 2019. 288 с.
- [13] Выготский Л.С. Психология развития ребенка. М.: Смысл; Эксмо, 2004. 512 с.
- [14] Агде Г. Нагель А., Рихтер Ю. Проектирование детских игровых площадок. М.: Стройиздат, 1988. 88 с.
- [15] Егорова К.В., Довганюк А.И. Рекомендации по подбору безопасных поверхностей для детских развивающих площадок // Вестник ландшафтной архитектуры, 2013. № 2. С. 54–57.
- [16] Егорова К.В., Довганюк А.И. Рекомендации по созданию развивающих площадок для детей раннего и дошкольного возраста // Вестник ландшафтной архитектуры, 2013. № 1. С. 13–16.
- [17] ТСН 30-307–2002 г. Москвы (МГСН 1.02–02) Нормы и правила проектирования комплексного благоустройства на территории города Москвы. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200029835>, свободный (дата обращения 17.10.2020).

## Сведения об авторе

Довганюк Александр Иванович — канд. биол. наук, доцент кафедры ландшафтной архитектуры РГАУ–МСХА имени К.А. Тимирязева, alexadov@rgau-msha.ru

Поступила в редакцию 05.03.2021.

Принята к публикации 29.03.2021.

## SUBJECT-SPATIAL ENVIRONMENT OF CHILDREN'S PLAYGROUNDS FORMATION IN MOSCOW

A.I. Dovganyuk

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

alexadov@rgau-msha.ru

The analysis of the subject-spatial environment of children's playgrounds is presented. Their special importance in the formation of a comfortable, stable and safe environment for children is highlighted. The importance of selecting play equipment for playgrounds is indicated not only based on its availability and accessibility, but also based on the age-specific characteristics of the child's perception of the environment. The scheme of using different types of children's play equipment is proposed, depending on the age of the child (the type of child's play). The reasons for the lack of interest of children (4–7 years old) are revealed) to the installed gaming equipment and their preferences. The subject-spatial environment is analyzed on the example of 20 playgrounds in the Maryino district of Moscow. The principles of selection of equipment in accordance with the age category of the child, and the problems of spatial placement of this game equipment, designed for children of different ages, on the playground are considered. **Keywords:** children's playgrounds, subject-spatial environment, type of game equipment, age-related features of the game, game, playgrounds

**Suggested citation:** Dovganyuk A.I. *Formirovanie predmetno-prostranstvennoy sredy detskikh igrovyykh ploshchadok v g. Moskve* [Subject-spatial environment of children's playgrounds formation in Moscow]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 4, pp. 69–76. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-4-69-76

## References

- [1] Dovganyuk A.I. *Landshaft rebenka* [Landscape of the child]. Doklady TSHA [TSHA reports]. Moscow: Publishing house RSAU – Moscow Agricultural Academ, 2021, pp. 96–99.
- [2] Dovganyuk A.I., Skabelkina O.A. Problemy detskogo vospriyatiya vizual'noy sredy megapolisa [Problems of child perception of a visual environment in a megalopolis]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 3, pp. 97–101. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-3-97-101
- [3] Grashin A.A. *Dizayn detskoy razvivayushchey predmetnoy sredy* [Design of children's educational subject environment]. Moscow: Architecture-C, 2008, 296 p.
- [4] GOST R 52167–2012 *Oborudovanie i pokrytiya detskikh igrovykh ploshchadok. Bezopasnost' konstruksii i metody ispytaniy kacheley* [Equipment and coverings for children's playgrounds. Safety of structure and test methods for swings]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200098412> (accessed 17.10.2020).
- [5] GOST R 52168–2012. *Oborudovanie i pokrytiya detskikh igrovykh ploshchadok. Bezopasnost' konstruksii i metody ispytaniy gorok* [Equipment and coverings for children's playgrounds. Safety of construction and testing methods of slides]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200096282> (accessed 17.10.2020).
- [6] GOST R 52300–2013 *Oborudovanie i pokrytiya detskikh igrovykh ploshchadok. Bezopasnost' konstruksii i metody ispytaniy. Obshchie trebovaniya* [Equipment and coverings for children's playgrounds. Design safety and test methods. General requirements]. Available at: URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200104305> (accessed 17.10.2020).
- [7] GOST R 52299–2013 *Oborudovanie i pokrytiya detskikh igrovykh ploshchadok. Bezopasnost' konstruksii i metody ispytaniy kachalok* [Equipment and coverings for children's playgrounds. Safety of rocking chair construction and test methods]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200104303> (accessed 17.10.2020).
- [8] Frebel' V.A. *Budem zhit' dlya svoikh detey* [Let's live for our children] Moscow: Karapuz, 2000, 287 p.
- [9] Fadina N.V., Dovganyuk A.I. *K voprosu o sootvetstvii detskogo igrovogo oborudovaniya vozrastnoy kategorii rebenka (na primere detskikh ploshchadok rayona Mar'ino g. Moskvy)* [On the question of compliance of children's play equipment with the age category of a child (on the example of playgrounds in the Maryino district of Moscow)]. *Vestnik landshaftnoy arkitektury* [Bulletin of Landscape Architecture], 2019, iss. 19, pp. 76–81.
- [10] Krayg G. *Psikhologiya razvitiya* [Psychology of development]. St Petersburg: Peter, 2000, 992 p.
- [11] Sukhova E.S., Dovganyuk A.I. *Vospriyatie landshafta det'mi shkol'nogo i doshkol'nogo vozrasta i osobennosti ozeleneniya i blagoustroystva uchrezhdeniy obrazovaniya i zdravookhraneniya* [Perception of the landscape by children of school and preschool age and features of landscaping and improvement of educational and health institutions]. Doklady TSHA [TSHA reports]. Moscow: Publishing house RSAU – Moscow Agricultural Academ, 2012, no. 284-1, pp. 567–570.
- [12] Petranovskaya L.V. *Taynaya opora: privyazannost' v zhizni rebenka* [Secret support: attachment in the life of a child]. Moscow: AST, 2019, 288 p.
- [13] Vygotskiy L.S. *Psikhologiya razvitiya rebenka* [The psychology of child development]. Moscow: Smysl, Eksmo, 2004, 512 p.
- [14] Agde G. Nagel' A., Rikhter Yu. *Proektirovaniye detskikh igrovykh ploshchadok* [Design of children's playgrounds] Moscow: Stroyizdat, 1988, 88 p.
- [15] Egorova K.V., Dovganyuk A.I. *Rekomendatsii po podboru bezopasnykh poverkhnostey dlya detskikh razvivayushchikh ploshchadok* [Recommendations for the selection of safe surfaces for children's educational playgrounds]. *Vestnik landshaftnoy arkitektury* [Bulletin of Landscape Architecture], 2013, no. 2, pp. 54–57.
- [16] Egorova K.V., Dovganyuk A.I. *Rekomendatsii po sozdaniyu razvivayushchikh ploshchadok dlya detey rannego i doshkol'nogo vozrasta* [Recommendations for creating educational platforms for children of early and preschool age]. *Vestnik landshaftnoy arkitektury* [Bulletin of Landscape Architecture], 2013, no. 1, pp. 13–16.
- [17] TSN 30-307–2002 g. Moskvy (MGSN 1.02–02) *Normy i pravila proektirovaniya kompleksnogo blagoustroystva na territorii goroda Moskvy* [Norms and rules of design of complex improvement in the territory of the city]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200029835> (accessed 17.10.2020).

## Author's information

**Dovganyuk Aleksandr Ivanovich** — Cand. Sci. (Biology), Associate Professor of the Department of Landscape Architecture in RSAU–MTAA named after K.A. Timiryazev, alexadov@rgau-msha.ru

Received 05.03.2021.

Accepted for publication 29.03.2021.

## ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ НЕКОТОРЫХ ФЕНОТИПИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ СОРТОВ ПИОНА ТРАВЯНИСТОГО (*PAEONIA L.*) С ЯПОНСКОЙ ФОРМОЙ ЦВЕТКА В СОСТАВЕ КОЛЛЕКЦИОННОГО ФОНДА ГЛАВНОГО БОТАНИЧЕСКОГО САДА РАН

А.В. Гусев<sup>1</sup>, Е.К. Баранова<sup>2</sup>, О.Г. Васильева<sup>1</sup>, Н.А. Мамаева<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>РГАУ–МСХА им. К.А. Тимирязева, 127550, Москва, Тимирязевская ул., д. 49

gusev.gbsran@mail.ru

Приведены результаты изучения изменчивости некоторых количественных и качественных признаков в рамках модельной выборки сортов пиона травянистого с японской формой цветка для выявления генотипов, отличающихся сортоспецифическими характеристиками. Исследованная выборка сформирована на базе коллекции представителей рода *Paeonia L.* лаборатории декоративных растений Главного ботанического сада (ГБС РАН) и составляет 17 и 40 сортов, соответственно, для оценки вариабельности количественных и качественных признаков соответственно. В ходе исследования для ряда культиваров установлены сортоспецифические характеристики. Выделены два низкорослых ('Bu-Te', 'West Elktion') и три высокорослых ('Yellow King', 'Hit Parade', 'Lotus Queen') сорта. Отмечены три сорта — 'Mrs. Wilder Bankroft', 'Midnight Sun', 'Neon' — со стабильно низкими абсолютными значениями диаметра цветоноса у основания. Выявлены два крупноцветковых ('Gold Standard', 'Сюрприз') и два мелкоцветковых ('Bu-Te', 'Gay Paree') культивара. Установлено, что наиболее крупными размерами зоны стаминодий отличается сорт 'Hit Parade'. Наименее распространенные вариации типа куста (в фазу полного цветения) зафиксированы у четырех сортов 'Rashoomon', 'Feather Top', 'Largo' (компактный) и 'Mr. G.F. Hemerik' (раскидистый). Отмечены два культивара ('Isani Gidui', 'Fairy') с, вероятно, не типичным для представителей данной садовой группы, типом формы листа — *Paeonia mlokosewitschii*. Выявлены восемь сортов ('Philomele', 'Fairy', 'Okinava', 'Мираж', 'Isani Gidui', 'Yellow King', 'Bu-Te', 'Walter Mains'), характеризующихся относительно малораспространенными морфологическими характеристиками, связанными с формой сегмента листа. Выделен сорт 'Akron' с оригинальным (для исследуемой выборки) вариантом пигментации стебля.

**Ключевые слова:** *Paeonia L.*, ГБС РАН, японская форма цветка, количественные и качественные признаки, вариабельность характеристик, сортоспецифические особенности

**Ссылка для цитирования:** Гусев А.В., Баранова Е.К., Васильева О.Г., Мамаева Н.А. Вариабельность некоторых фенотипических признаков сортов пиона травянистого (*Paeonia L.*) с японской формой цветка в составе коллекционного фонда Главного ботанического сада РАН // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 4. С. 77–88. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-4-77-88

Как известно, для таксонов с широким разнообразием культурных форм, наряду с ботанической, как правило, существуют различные варианты садовых классификаций, которые помогают структурировать обычно расширяющийся ассортимент культуры и, отчасти, способствуют успешности интродукционной работы, в некоторой степени упрощая процесс интродукционного поиска [1].

Современный мировой ассортимент пионов (*Paeonia L.*) насчитывает около 6500 сортов [2, 3]. А у сортов пиона травянистого основой одной из базовых садовых классификаций традиционно считается группировка культиваров по форме цветка [4–6].

Группа сортов пиона травянистого с японской формой цветка — переходная между полумахровыми и махровыми пионами. Видом-родоначальником этой группы является *Paeonia lactiflora* Pall. [7]. Однако по характеристикам цветка сорта сильно отличаются от исходного природного вида [8–10]. При этом садовую группу культиваров с японской формой цветка по комплексу фенотипических

признаков относительно других садовых групп пиона травянистого, принято считать достаточно однородной [11–13]. Поэтому для представителей этой садовой группы выявление сортоспецифических признаков можно считать направлением научно-исследовательских работ, не потерявшим актуальность и в настоящее время.

Одним из возможных прикладных аспектов использования результатов подобных исследований, на наш взгляд, является формирование на базе коллекционных фондов ботанических учреждений признаков коллекций [14], что можно использовать как один из вероятных вариантов упорядочения морфологического разнообразия и демонстрации вариабельности сортового разнообразия в составе крупных моноколлекций.

### Цель работы

Цель работы — изучение вариабельности некоторых количественных и качественных признаков у сортов пиона травянистого с японской формой цветка и выделение генотипов, отличающихся сортоспецифическими характеристиками.

## Материалы и методы

Исследования проводились на базе коллекции представителей рода *Paeonia* лаборатории декоративных растений (ЛДР) Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина Российской академии наук» (ГБС РАН) в период 2017–2020 гг. (учет количественных характеристик проведен в течение 2017–2019 гг., качественных — 2019–2020 гг.).

В качестве модельных объектов исследования для оценки вариабельности количественных признаков использована выборка из 17 сортов пиона травянистого с японской формой цветка: 'Yellow King', 'Bu-Te', 'Midnight Sun', 'John van Leeuwen', 'Hit Parade', 'Cora Stubbs', 'Breako' Day', 'Rashomon', 'Moon of Nippon', 'Mrs. Wilder Bancroft', 'Gay Patee', 'Philomele', 'Gold Standard', 'Neon', 'Lotus Queen', 'West Elkton' и 'Сюрприз'. Выборка сформирована на основе информации о происхождении сортов и краткого описания их характеристик [15, 16], а также с учетом визуальной оценки (на основе многолетних наблюдений) вариабельности фенотипических признаков в полевых условиях.

Для исследования распределения качественных признаков использованы все сорта — 40 наименований — с японской формой цветка, входящие в состав современной коллекции *Paeonia* ЛДР ГБС РАН: 'Isani Gidui', 'Mr. G.F. Hemerik', 'Ama-No-Sode', 'Akron', 'White Sands', 'Westerner', 'Waikiki', 'Fairy', 'Feather Top', 'Okinava', 'Walter Mains', 'Mikado', 'Largo', 'Clara Vivian', 'Kinsui', 'Garden Peace', 'Christine', 'Dream Mist', 'Charm', 'Carrara', 'M-me Butterfly', 'Hot Chocolate', 'Мираж', а также еще 17 указанных выше наименований.

Сбор экспериментальных данных осуществлен с использованием пяти растений каждого сорта, что соответствует коллекционному числу, принятому в настоящее время в ЛДР ГБС РАН для собрания сортов пиона травянистого. Возраст растений на момент начала исследований (2017 г.) составил 6 лет.

Формирование выборки изучаемых характеристик сортов выполнено преимущественно на основе методики испытания пиона травянистого на отличимость, однородность, стабильность (ООС) [17], но с учетом более ранних методик [8, 18]. Также использованы признаки, предложенные сотрудниками ЛДР ГБС РАН. В составе количественных характеристик это — соотношение диаметров цветка и зоны стаминодий; в выборке качественных признаков — расположение антоциановой окраски на стебле и степень выраженности антоциановой окраски черешка. Признак, обозначенный в методике испытания

пиона травянистого на ООС как «высота куста», в настоящем исследовании модифицирован и учтен как «длина генеративного побега», поскольку в исследовании учтены количественные признаки, связанные только с генеративной сферой.

В 2019–2020 гг. начата работа по формированию массива экспериментальных данных, связанных с учетом еще двух количественных признаков: коэффициента вегетативного размножения и емкости почек.

Обработка экспериментальных данных осуществлена в соответствии с классическими методиками: для количественных признаков — однофакторный дисперсионный анализ [19], для качественных — составление вариационных рядов [20].

## Результаты и обсуждение

Коллекционный фонд представителей рода *Paeonia* L. ЛДР ГБС РАН относится к наиболее крупным и старым собраниям [16]. В его составе традиционно преобладали сорта зарубежной селекции, поскольку интродукционная работа обычно была направлена на изучение биологических особенностей иностранных сортов в почвенно-климатических условиях средней полосы России [21, 22]. Подобная тенденция сохранена и в научно-исследовательской работе с современным коллекционным фондом [23, 24].

В составе современной коллекции *Paeonia* ЛДР ГБС РАН достаточно полно представлены группы сортов, отличающиеся различным видовым происхождением. Так, большую часть коллекции — 335 наименований — составляют сорта *Paeonia lactiflora* Pall., к сложным межвидовым гибридам принадлежит 133 сорта, 20 сортов относится к *P. officinalis* L. При этом ассортимент сформирован так, что в коллекцию традиционно входят все садовые группы пионов.

По нашему мнению, наиболее значимым вариантом садовой классификации сортов пиона травянистого является их группировка по форме цветка.

Т а б л и ц а 1

**Распределение сортов пиона травянистого в составе коллекции ЛДР ГБС РАН по форме цветка (в процентах от ее общего объема)**  
**Distribution of herbaceous peony varieties in the collection of the LOP MBS RAS by flower shape (as a percentage of its total volume)**

Форма цветка	Количество сортов, %
Простая (немахровая)	8,3
Полумаховая	8,7
Японская	10,0
Анемоновидная	6,5
Маховая	66,5

Поэтому в современной коллекции представлены все вариации этого признака (табл. 1). При этом распределение сортов между группами в составе коллекционного фонда *Paeonia* ГБС РАН в целом соответствует соотношению представителей указанных садовых групп в мировом ассортименте.

Активная НИР по изучению биоморфологических признаков пиона травянистого при интродукции традиционно проводится в Ботаническом саду МГУ им. М.В. Ломоносова. При этом современные исследования — с учетом классических подходов [25] — базируются на таких консервативных характеристиках, как уровень пloidности, ультраскульптура поверхности пыльцевых зерен и семян [26]. Таким образом, комплексный подход с использованием широкого диапазона морфолого-биологических признаков способствует решению как теоретических, так и прикладных разноплановых задач.

Интродукционная работа с пионом травянистым в ЛДР ГБС РАН в настоящее время сориентирована на исследование культивируемых форм (сортов, гибридов) и направлена в основном на решение прикладных задач [24], в том числе выявление сортовых особенностей *Paeonia* и совершенствование подходов к группировке генотипов со сходными фенотипическими характеристиками, что, по нашему мнению, можно учесть в рамках стратегии сохранения и расширения состава коллекционного фонда представителей рода *Paeonia*.

В настоящем исследовании изучены четыре количественных признака: 1) длина генеративного побега; 2) диаметр генеративного побега у основания; 3) диаметр цветка; 4) соотношение диаметров цветка и зоны стаминодий. Все они входят в обе актуальные для цветочно-декоративных растений категории: хозяйственно-ценные и декоративные характеристики [27]. На наш взгляд, они имеют важное значение при формировании и расширении выборки сортов пиона травянистого с японской формой цветка в целях поддержания в составе коллекции репрезентативности сортимента.

В процессе исследований влияние сортовых особенностей на изменчивость рассматриваемых морфометрических характеристик установлено для всех показателей, за исключением длины генеративного побега в 2017 г., где на 5%-м уровне значимости эмпирическое значение критерия Фишера (1,79) ниже стандартного (2,01). Подобный результат, по нашему мнению, можно объяснить воздействием погодных условий на исследуемые растения и вероятным влиянием их возраста. При этом у всех исследованных сортов по всем изученным количественным признакам в структуре общей изменчивости доминирует влияние гено-

типа, а доля случайных факторов незначительна и составляет от 1 до 13 % (табл. 2).

В ходе настоящего исследования установлено, что по длине генеративного побега на основе выборки 2018 г. наиболее низкорослые сорта 'John van Leeuwen', 'Bu-Te' и 'West Elkton' достоверно отличаются на 5%-м уровне значимости от сортов с более крупным габитусом; в 2019 г. достоверно ниже показатели пяти культиваров: 'Moon of Nippon', 'Bu-Te', 'West Elkton' и двух ранее не входивших в выборку сортов — 'Fairy' и 'Garden Peace'. По линейным размерам цветоноса существенные на 5%-м уровне значимости статистические различия выявлены для сортов 'Hit Parade', 'Lotus Queen' и 'Yellow King' (2018 г.), а также 'Yellow King', 'Hit Parade', 'Breako' Day' и 'Lotus Queen' (2019 г.), отличающихся от других членов выборочной совокупности более крупным габитусом. Таким образом, по результатам трехлетнего цикла исследований на основе использования статистических методов обработки количественных данных из состава выборочной совокупности выделены два низкорослых — 'Bu-Te', 'West Elkton' (рис. 1) и три высокорослых — 'Hit Parade', 'Yellow King' и 'Lotus Queen' культивара пиона травянистого с японской формой цветка (рис. 2), для которых соответствующий габитус, вероятно, является генетически детерминированным признаком, поскольку в структуре общей изменчивости признака доминирует влияние сортовых характеристик (см. табл. 2).

За период исследований (2017–2019) отсутствие существенных различий между большинством сортов — представителей садовой группы пионов с японской формой цветка в составе изучаемой выборки установлено по диаметру генеративного побега у основания (см. табл. 2). В 2017 г. — группа культиваров с наибольшими из зафиксированных показателей составила 11 наименований: 'Gay Paree', 'Moon of Nippon', 'John van Leeuwen', 'Hit Parade', 'Cora Stubbs', 'Breako' Day', 'Gold Standard', 'Yellow King', 'Bu-Te', 'Philomele' и 'Сюрприз'; в 2018 г. — 13 сортообразцов: 'Moon of Nippon', 'Gay Paree', 'Philomele', 'Gold Standard', 'Bu-Te', 'Midnight Sun', 'John van Leeuwen', 'Yellow King', 'Hit Parade', 'Cora Stubbs', 'West Elkton', 'Lotus Queen' и 'Сюрприз', в 2019 г. — три сорта: 'Philomele', 'Moon of Nippon' и 'Lotus Queen'. В 2019 г., в отличие от двух предыдущих лет исследований, доминировала группа сортов с наименьшими (в рамках исследуемой выборки) размерами диаметра генеративного побега у основания. Она составила 11 наименований: 'Breako' Day', 'Bu-Te', 'Hit Parade', 'Fairy', 'Garden Peace', 'Cora Stubbs', 'Rashoomon', 'Gay Paree', 'Сюрприз', 'Mrs. Wilder Bancroft' и 'West Elkton'. Отметим, что за весь период исследований выявлено только

Т а б л и ц а 2

**Варьирование некоторых морфологических признаков у исследованных сортов пиона травянистого (2017–2019 гг.)**

Variation of some morphological characters in the studied varieties of grassy peony (2017–2019 гг.)

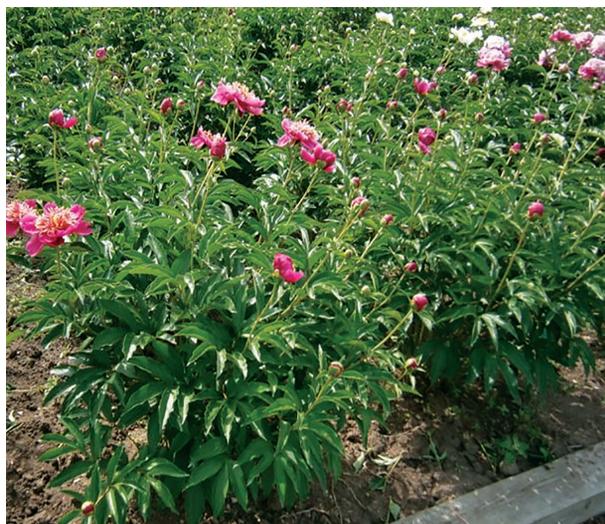
Сорт	Длина генеративного побега, см			Диаметр генеративного побега у основания, см			Диаметр цветка, см			Соотношение диаметров цветка и зоны стаминодий		
	2017	2018	2019	2017	2018	2019	2017	2018	2019	2017	2018	2019
'Yellow King'	124,3	119,3	123,7	0,9	0,8	0,8	18,4	16,6	18,9	1,94	1,97	1,83
'Bu-Te'	104,4	92,8	94,1	0,9	0,7	0,7	15,2	14,3	15,0	1,64	1,75	1,90
'Midnight Sun'	96,7	95,8	100,8	0,8	0,7	0,8	17,8	16,2	16,8	1,76	2,35	1,87
'John van Leeuwen'	97,4	86,8	-	1,0	0,7	-	18,4	15,6	-	3,00	2,78	-
'Hit Parade'	121,5	115,5	120,4	0,9	0,8	0,7	17,5	14,2	17,1	2,20	2,73	2,03
'Cora Stubbs'	107,2	98,9	104,8	0,9	0,7	0,7	14,0	15,4	17,0	1,81	1,93	1,43
'Breako' Day'	117,1	-	118,4	0,9	-	0,7	18,0	-	16,1	1,78	-	1,97
'Rashoomon'	76,8	-	107,1	0,7	-	0,7	17,4	-	16,7	2,11	-	2,07
'Moon of Nippon'	102,9	100,9	98,1	1,1	0,7	1,0	16,6	15,6	17,1	2,09	2,35	2,13
'Mrs. Wilder Bancroft'	108,6	99,6	103,0	0,8	0,6	0,7	16,1	15,0	16,3	1,51	1,66	1,67
'Gay Paree'	109,5	103,7	108,6	0,9	0,7	0,7	15,3	14,6	16,2	1,58	1,89	1,63
'Philomele'	108,7	106,2	110,0	1,0	0,9	1,0	16,2	13,8	16,1	1,7	2,09	1,60
'Gold Standard'	112,4	107,0	111,0	1,1	0,8	0,8	20,3	19,8	19,1	2,06	1,86	2,03
'Neon'	109,4	100,2	106,5	0,8	0,6	0,8	16,2	15,6	17,7	1,97	1,37	2,03
'Сюрприз'	114,8	103,9	105,6	0,9	0,8	0,7	20,5	18,4	18,4	1,86	2,00	1,97
'Lotus Queen'	-	107,7	113,6	-	0,8	0,9	-	16,3	19,0	-	1,39	2,13
'West Elkton'	-	94,6	96,3	-	0,8	0,7	-	14,0	16,5	-	1,90	1,67
'Fairy'	-	-	88,5	-	-	0,6			17,1	-	-	1,57
'Garden Peace'	-	-	91,6			0,6			18,8	-	-	1,67
Результаты статистической обработки экспериментальных данных												
Fф/ F <sub>05</sub>	1,79/ 2,01	27,7/ 2,01	27,05/ 1,89	8,65/ 2,01	7,10/ 2,01	20,39/ 1,89	27,45/ 2,01	14,73/ 2,01	12,12/ 1,89	119,36/ 2,01	28,81/ 2,01	17,31/ 1,89
HCP <sub>05</sub>	-	8,2	10,2	0,2	0,2	0,12	1,8	2,3	1,9	0,21	0,10	0,27
Источники вариации (p <sup>ин</sup> , %)												
Фактор (сорт)		96	96	89	87	95	96	94	92	99	98	94
Случайные		4	4	11	13	5	4	6	8	1	2	6

три сорта пиона травянистого с японской формой цветка — 'Midnight Sun', 'Mrs. Wilder Bancroft' и 'Neon' — со стабильно низкими абсолютными значениями рассматриваемого признака, т. е. наиболее тонкими и, соответственно, потенциально более подверженными полеганию цветоносами.

В составе изучаемой выборки травянистых пионов — представителей садовой группы с япон-

ской формой цветка существенные на 5%-м уровне значимости статистические различия сортов отмечены по характеристикам цветка (см. табл. 2), относящимся как к категории декоративных, так и хозяйственно ценных признаков [27].

В 2017 г. по диаметру цветка у культиваров 'Bu-Te', 'Cora Stubbs' и 'Gay Paree' показатели линейных размеров достоверно ниже, чем у сортов



**Рис. 1.** Высokорослый сорт пиона травянистого 'Hit Parade'  
**Fig. 1.** Tall variety of herbaceous peony 'Hit Parade'



**Рис. 2.** Низкорослый сорт пиона травянистого 'West Elkton'  
**Fig. 2.** Undersized variety of herbaceous peony 'West Elkton'



*a*



*б*

**Рис. 3.** Крупноцветковые сорта пиона травянистого 'Сюрприз' (*a*) и 'Gold Standard' (*б*)  
**Fig. 3.** Large-flowered varieties of herbaceous peony 'Сюрприз' (*a*) and 'Gold Standard' (*б*)

с более крупными цветками, а у сортов 'Gold Standard' и 'Сюрприз' — достоверно выше, чем у менее крупноцветковых сортов — членов выборочной совокупности.

В 2018 г. указанные ранее культивары — 'Gold Standard' и 'Сюрприз' — на 5%-м уровне значимости достоверно превысили показатели других исследуемых генотипов, а группа сортов с небольшими линейными размерами цветков и, соответственно, отсутствием достоверных статистических различий составила 10 наименований: 'Bu-Te', 'Cora Stubbs', 'Moon of Nippon', 'Mrs. Wilder Bancroft', 'John van Leeuwen', 'Hit Parade', 'Gay Patee', 'Philomele', 'Neon' и 'West Elkton'.

В 2019 г. выявлены две крупные группы, характеризующиеся отсутствием существенных на 5%-м уровне значимости статистических различий между сортами в составе каждой из них. Это,

соответственно, относительно более крупноцветковые 'Gold Standard', 'Neon', 'Yellow King', 'Сюрприз', 'Hit Parade', 'Moon of Nippon', 'Lotus Queen', 'Fairy', 'Garden Peace' и более мелкоцветковые 'Bu-Te', 'Rashoomon', 'Mrs. Wilder Bancroft', 'Gay Patee', 'Midnight Sun', 'Breako' Day', 'Philomele' и 'West Elkton'. Подобная тенденция может быть обусловлена генетической реакцией сортов на погодные условия, что правомерно предположить на основании показателей структуры изменчивости рассматриваемого признака за три года исследования. При этом за период 2017–2019 гг. показатели других исследованных сортов по линейным размерам цветка достоверно превышены у двух генотипов — 'Сюрприз' и 'Gold Standard' (рис. 3), а показатели двух других культиваров — 'Bu-Te' и 'Gay Patee' (рис. 4) — достоверно ниже, чем у других членов выборочной совокупности.



Рис. 4. Мелкоцветковый сорт пиона травянистого 'Gay Parade'  
Fig. 4. Small-flowered variety of herbaceous peony 'Gay Parade'



Рис. 5. Сорт пиона травянистого с крупным размером зоны стаминодий 'Hit Parade'  
Fig. 5. Variety of herbaceous peony with a large staminode zone 'Hit Parade'



Рис. 6. Сорт пиона травянистого с крупным размером зоны стаминодий 'Hit Parade'  
Fig. 6. Variety of herbaceous peony with a large staminode zone 'Hit Parade'

Таким образом, на основании статистической обработки экспериментальных данных, полученных за три года исследований можно выделить, соответственно, два крупноцветковых ('Сюрприз' и 'Gold Standard') и два мелкоцветковых ('Bu-Te' и 'Gay Parade') сорта пиона травянистого с японской формой цветка. Это, согласно результатам дисперсионного анализа, является их генетически детерминированными характеристиками.

По составляющим цветка между группами сортов пиона травянистого с японской формой цветка также выявлены существенные на 5%-м уровне значимости статистические различия (см. табл. 2). Так, по соотношению диаметров цветка и зоны стаминодий, согласно данным за 2017 г., показатели сорта 'John van Leeuwen' достоверно превышают таковые у других членов выборочной совокупности. В 2018 г. существенно выше значения показателей двух сортов — 'Hit Parade' (в 2017 г. ему принадлежало второе по величине абсолютное значение исследуемого признака) и 'John van Leeuwen', а в 2019 г. — 10 наименований: 'Breako' Day', 'Bu-Te', 'Rashoomon', 'Hit Parade', 'Moon of Nippon', 'Gold Standard', 'Midnight Sun', 'Сюрприз', 'Lotus Queen' и 'Neon'. Следовательно, на текущем этапе исследований можно отметить, что в составе исследуемой выборочной совокупности наибольшими показателями соотношений диаметра цветка и зоны стаминодий отличаются 'Hit Parade' и 'John van Leeuwen'. Соответственно, наиболее крупные размеры зоны стаминодий отмечены для 'Hit Parade' (рис. 5), а наименьшие — у 'John van Leeuwen' (рис. 6), что, вероятно, можно рассматривать как сортоспецифические признаки.

В 2019–2020 гг. начата реализация многолетнего эксперимента по изучению особенностей вегетативного размножения культиваров травянистого пиона с японской формой цветка в рамках НИР по оценке эффективности использования количественных признаков для комплексного описания интродуцированных представителей рода *Paeonia* и выявления их сортоспецифических характеристик. При этом кроме фиксации количественных показателей темпов разрастания куста, проведен морфологический анализ вегетативных почек сортов — модельных объектов исследования. В качестве рабочей гипотезы этого блока НИР принято наличие корреляционной связи между коэффициентом вегетативного размножения и емкостью почек у сортов — членов выборочной совокупности. В настоящее время работа находится на этапе формирования массива цифровых данных для применения статистических методов их обработки.

В комплексе с количественными признаками у сортов — модельных объектов настоящего исследова-

дования были изучены некоторые качественные характеристики. При этом было проанализировано распределение вариаций каждого признака.

Показано, что по типу куста в фазу полного цветения в составе исследуемой выборки сортов пиона с японской формой цветка представлены все существующие градации признака, но их частота значительно варьирует (рис. 7). Так, наибольшее количество культиваров — 36 наименований или 90 % численности выборки — характеризуется полураскидистым типом куста, три наименования ('Rahoomon', 'Feather Top' и 'Largo') — отличаются компактными кустами (рис. 8), у одного сорта ('Mr. G.F. Hemerik') отмечен раскидистый тип куста.

Одним из наиболее вариабельных признаков вегетативной сферы у сортов пиона травянистого является форма листовой пластинки [9, 28]. Однако для представителей садовой группы с японской формой цветка в рамках исследуемой выборки из семи возможных градаций признака [17] отмечено два — *Paeonia lactiflora* и *P. mlokosewitschii*, с неравномерным распределением сортов — 38 и 2 наименования ('Isani Gidui', 'Fairy') соответственно. Можно предположить, что доминирование типа формы листа *P. lactiflora* определяется происхождением сортов этой группы и, вероятно, может быть учтено как ее маркерный признак (рис. 9).

Признак, косвенно связанный с вариабельностью типов листовой пластинки у сортов пиона травянистого, — форма сегмента листа. В настоящем исследовании установлено, что наибольшее количество членов выборочной совокупности — 32 наименования (80 % объема исследуемой выборки) характеризуются заостренно-эллиптической формой; ланцетовидную и заостренно-яйцевидную форму имеют, соответственно, по четыре сорта: 'Philomele', 'Fairy', 'Okinava', 'Мираж' и 'Isani Gidui', 'Yellow King', 'Bu-Te', 'Walter Mains'. Остальные градации признака — линейная, узколанцетная, эллиптическая, продолговато-яйцевидная, яйцевидная и округло-яйцевидная в составе выборки не представлены (рис. 10).

Таким образом, по типу формы сегмента листа в составе коллекции ЛДР ГБС РАН можно отметить восемь указанных выше сортов пиона травянистого с японской формой цветка с относительно малораспространенными морфологическими характеристиками.

Нами также изучена вариабельность пигментации различных частей растений — стебля и листа. Установлено, что у большинства сортов пиона травянистого из садовой группы с японской формой цветка в составе выборочной совокупности (32 наименования, или 80 % генотипов

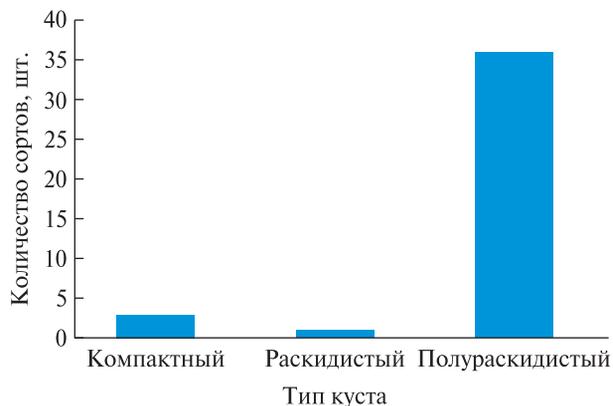


Рис. 7. Распределение исследуемых сортов пиона травянистого по типу куста в фазу полного цветения

Fig. 7. Distribution of the studied varieties of grassy peony by the type of bush in the phase of mass flowering

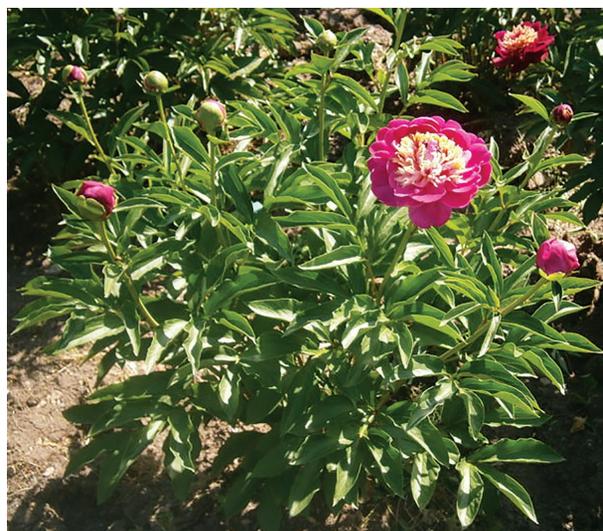


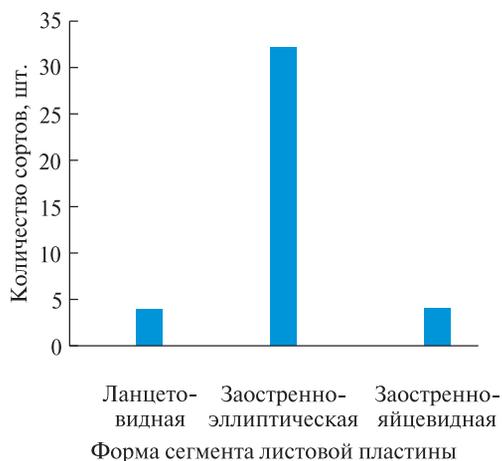
Рис. 8. Сорт пиона травянистого с компактным типом куста 'Feather Top'

Fig. 8. Variety of herbaceous peony with compact type of bush 'Feather Top'



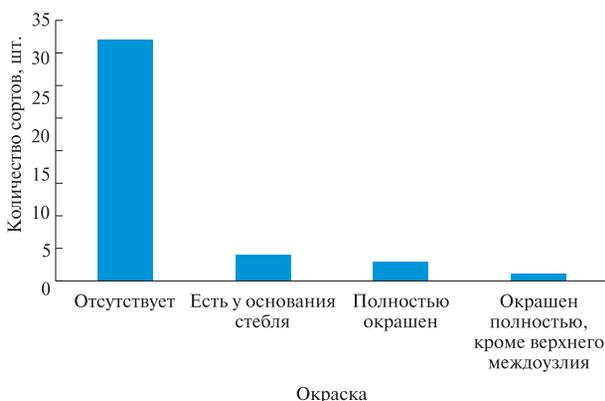
Рис. 9. 'Akron' — сорт пиона травянистого с формой листовой пластинки *Paeonia lactiflora*

Fig. 9. 'Akron' is variety of herbaceous peony with a leaf-shaped *Paeonia lactiflora*



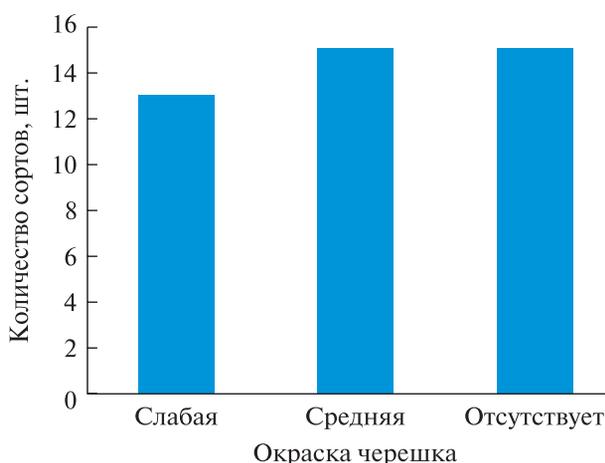
**Рис. 10.** Распределение исследуемых сортов пиона травянистого по форме сегмента листовой пластинки

**Fig. 10.** Distribution of the studied varieties of grassy peony in the form of a leaf blade segment



**Рис. 11.** Распределение исследуемых сортов пиона травянистого по расположению антоциановой окраски на различных частях стебля

**Fig. 11.** Distribution of the studied varieties of grassy peony by the location of anthocyanin coloration on various parts of the stem



**Рис. 12.** Распределение исследуемых сортов пиона травянистого по интенсивности антоциановой окраски черешка

**Fig. 12.** Distribution of the studied varieties of grassy peony by the intensity of the anthocyanin color of the petiole

выборки) антоциановая окраска стебля отсутствует; наличие пигментации зафиксировано у восьми культиваров. При этом выявлены различия сортов по расположению пигментированных участков (рис. 11). Так, стебель полностью окрашен у трех сортов — 'West Elkton', 'Walter Mains' и 'Hot Chocolate', основание побегов пигментировано у четырех культиваров — 'Midnight Sun', 'Philomele', 'Bu-Te' и 'Clara Vivian'. Оригинальный для исследуемой выборки вариант пигментации стебля отмечен у сорта 'Akron', который отличается отсутствием антоциановой окраски на верхних междоузлиях.

В настоящей работе более детально, чем в базовой методике [17], рассмотрена вариабельность антоциановой окраски черешка. Показано, что исследуемые сорта пиона травянистого с японской формой цветка распределены между принятыми градациями (за исключением варианта сильно выраженной окраски черешка) признака относительно равномерно (рис. 12). Так, низкая интенсивность окраски характерна для 13 сортов — членов выборочной совокупности, 12 наименований имеют среднюю интенсивность антоциановой пигментации, у 15 культиваров проявление антоциана на черешке отсутствует. Следовательно, можно отметить, что в составе современной коллекции пионов ЛДР сорта с сортоспецифическими характеристиками по вариабельности антоциановой окраски черешка отсутствуют. При этом, на наш взгляд, перспективным резервом пополнения коллекционного фонда для демонстрации всего спектра вариабельности указанного признака является поиск культиваров — представителей группы с сильной антоциановой окраской черешка.

Интенсивность зеленой окраски листа — качественный признак, определяемый с высокой долей субъективности, в исследуемой выборке сортов представлен двумя градациями (рис. 13) из трех, указанных в методике проведения испытаний сортов пиона травянистого на ООС [17]. При этом оригинальных с точки зрения проявления этого признака в фенотипе сортов — представителей садовой группы с японской формой цветка в составе исследованной выборки не обнаружено. Однако в процессе интродукционного испытания новых для коллекции ЛДР сортов пиона травянистого с японской формой цветка вариант светло-зеленой окраски листовой пластинки, по нашему мнению, может оказаться перспективным маркерным признаком.

Одним из качественных признаков вегетативной сферы *Paeonia*, наиболее удобных для фиксации и исследования в полевых условиях, является опушенность листовой пластинки. В настоящем исследовании изучено распределение модельных

объектов сортов пиона травянистого с японской формой цветка в составе принятой выборки по степени опушенности нижней стороны листовой пластинки. Выявлено, что доминируют культивары с отсутствием опушения — 30 наименований, или 75 % численности выборочной совокупности. Соответственно, градации по степени опушения листовой пластинки представлены малым количеством сортов: среднеопушенная один сорт ('Fairy'), сильноопушенная — три ('Ama-No-Sode', 'Dream Mist', 'Gold Standard'); слабоопушенная — шесть ('Okinava', 'West Elkton', 'Kinsui', 'Christine', 'Charm' и 'Сюрприз') (рис. 14).

Таким образом, сортоспецифическим признаком можно считать среднюю степень опушения листовой пластинки у культивара 'Fairy'.

В составе качественных характеристик вегетативной сферы исследуемых культиваров также отмечен признак с отсутствием варьирования — глянецитость поверхности листа, зафиксированный у всех сортов — членов выборочной совокупности. Можно предположить, что он наряду с типом формы листа *P. lactiflora*, относится к маркерным признакам, характеризующим группу сортов с японской формой цветка в целом.

## Выводы

1. С использованием однофакторного дисперсионно анализа по большинству признаков, изученных в составе выборки модельных объектов, выявлено наличие существенных на 5%-м уровне значимости статистических различий.

2. В структуре общей изменчивости исследованных количественных характеристик установлено определяющее влияние генотипа.

3. Выделены культивары пиона травянистого с японской формой цветка, отличающиеся сортоспецифическими характеристиками. По **количественным** признакам: низкорослые сорта — 'Bu-Te', 'West Elkton' и высокорослые 'Hit Parade', 'Yellow King', 'Lotus Queen'; со стабильно низкими абсолютными значениями диаметра генеративного побега у основания — 'Mrs. Wilder Bankroft', 'Midnight Sun' и 'Neon'; крупноцветковые — 'Gold Standard', 'Сюрприз'; мелкоцветковые — 'Bu-Te', 'Gay Paree'; с наибольшими показателями соотношений диаметра цветка и зоны стаминодий — 'Hit Parade' и 'John van Leeuwen'. По **качественным** характеристикам: 'Rashoomon', 'Feather Top', 'Largo' с компактным и 'Mr.G.F. Hemerik' с раскидистым типом куста (в фазу полного цветения); 'Isani Gidui' и 'Fairy' — с не типичным для представителей данной садовой группы типом формы листа *Paeonia mlokosewitschii*; 'Philomele', 'Fairy', 'Okinava', 'Мираж', 'Isani Gidui', 'Yellow King', 'Bu-Te', 'Walter Mains' — с формой сегмента листа, отличающейся относительно малораспро-

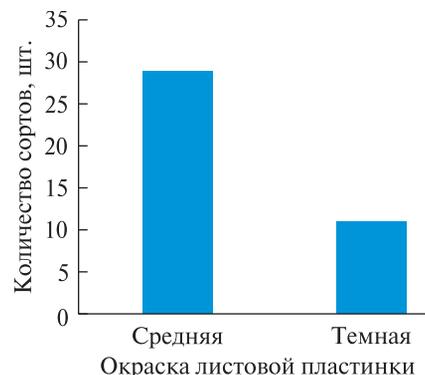


Рис. 13. Распределение исследуемых сортов пиона травянистого по интенсивности окраски листовой пластинки

Fig. 13. Distribution of the studied varieties of grassy peonies according to the color intensity of the leaf blade

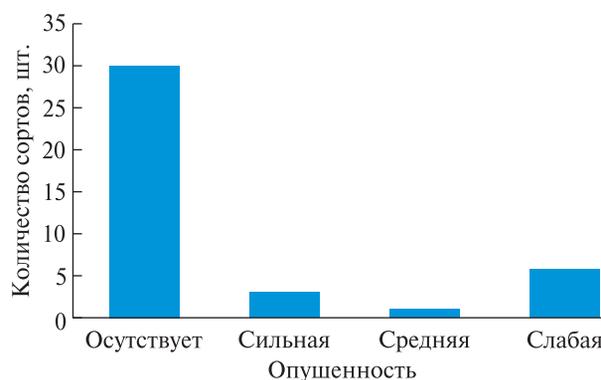


Рис. 14. Распределение исследуемых сортов пиона травянистого по опушенности нижней стороны листовой пластинки

Fig. 14. Distribution of the studied varieties of grassy peony by the degree of pubescence of the lower side of the leaf blade

страненными морфологическими характеристиками; 'Akron' — с оригинальным для исследуемой выборки вариантом пигментации стебля (отсутствием антоциановой окраски на верхних междоузлиях); сорт 'Fairy' — со средней степенью опушения листовой пластинки.

Работа выполнена в рамках ГЗ ГБС РАН № 18-118021499111-5.

## Список литературы

- [1] Алексанян С.М. Современные проблемы мобилизации мировых растительных ресурсов: исторический и международные аспекты: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: код специальности 06.01.09. Санкт-Петербург, 2000. 27 с.
- [2] Дубров В.М. Пионы. М.: Фитон XXI, 2016. 208 с.
- [3] The American Peony Society – A World of Peonies: The international non-profit organization and registration authority dedicated to promoting the culture, education, science and enjoyment of the genus 'Paeonia'. URL: <http://www.americanpeonysociety.org> (дата обращения 07.01.2021).

- [4] Ипполитова Н.Я., Васильева М.Ю. Пионы: Альбом-справочник. М.: Россельхозиздат, 1985. 224 с.
- [5] Македонская Н.В. Пионы. Минск: Полюмя, 1988. 192 с.
- [6] Успенская М.С. Пионы. М.: Фитон+, 2003. 208 с.
- [7] Гайшун В.В. Пионы. М.: Издательский дом МСП, 2003. 32 с.
- [8] Васильева М.Ю. Признаки сортов травянистых пионов в связи с их происхождением // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции, 1980. Т. 67. Вып. 1. С. 147–152.
- [9] Ефимов С.В. Род *Paeonia* L. Современные направления интродукции и методы оценки декоративных признаков: автореф. дис. ... канд. биол. наук: код специальности 03.00.05. Москва, 2008. 22 с.
- [10] Карписонова Р.А., Бочкова И.Ю., Васильева И. В., Данилина Н.Н., Дьякова Г.М., Кабанов А.В., Кабанцева И.Н. и др. Культурная флора травянистых декоративных многолетников средней полосы России. М.: Фитон+, 2011. 432 с.
- [11] Горобец В.Ф. Интродукционное сортоизучение травянистых пионов // Республиканский межведомственный сб. науч. тр.: Интродукция и акклиматизация растений. Вып. 13. Киев: Наукова думка, 1991. С. 10–15.
- [12] Ипполитова Н.Я., Успенская М.С. Пионы травянистые и древовидные. М.: Фитон+, 2008. 64 с.
- [13] Реут А.А. Биология и размножение представителей рода *Paeonia* L. при интродукции в лесостепной зоне Башкирского Предуралья: дис. ... канд. биол. наук: код специальности 03.02.01. Уфа, 2010. 187 с.
- [14] Гриб О.М., Павлович Л.М. Создание признакововой коллекции и аспекты ее использования // Известия Академии аграрных наук Республики Беларусь. Сер. Земледелие и растениеводство, 2001. № 1. С. 34–38.
- [15] Дьякова Г.М. *Paeonia* L. – Пион / под ред. А.С. Демидова. М.: Наука, 2009. С. 260–288.
- [16] Коллекции растений. Цветочно-декоративные растения. URL: <http://www.gbsad.ru/koll/decor/cvet.php> (дата обращения 25.01.2021).
- [17] Методика проведения испытаний на отличимость, однородность, стабильность. Пион (только для сортов травянистого пиона) (*Paeonia* L.): нормативно-правовая база государственной комиссии по испытанию и охране селекционных достижений. М.: ФГБУ «Госсорткомиссия», 2003. URL: <http://gossort.com/22-metodiki-ispytaniy-na-oos.html> (дата обращения 25.01.2021).
- [18] Васильева М.Ю. Особенности определения сорта у пионов // Сортоизучение и размножение декоративных культур: сб. науч. тр. М.: Изд-во НИЗИСНП, 1980. С. 36–45.
- [19] Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
- [20] Зайцев Г.Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. М.: Наука, 1990. 296 с.
- [21] Былов В.Н. Основы сравнительной сортооценки декоративных растений при интродукции: автореф. дис. ... д-ра биол. наук: код специальности 06.01.05. Москва, 1976. 43 с.
- [22] Карписонова Р.А., Демидов А.С. Принципы создания и изучения коллекций декоративных растений ГБС РАН // Информационный Бюллетень Совета ботанических садов России, 1997. № 7. С. 25–31.
- [23] Демидов А.С., Кузьмин З.Е., Шатко В.Г. Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН (история, становление и достижения): к 60-летию основания. Тула: Гриф и К, 2005. 112 с.
- [24] Бондорина И.А., Кабанов А.В., Мамаева Н.А., Хохлачева Ю.А., Бумбеева Л.И. Современное состояние коллекционного фонда лаборатории декоративных растений ГБС РАН // Известия Саратовского ун-та. Нов. серия. Химия. Биология. Экология, 2019. Т. 19. Вып. 1. С. 79–86.
- [25] Карпун Ю.Н. Основы интродукции растений // Hortus botanicus, 2004. Т. 2. С. 17–32.
- [26] Ефимов С. В. Комплексное изучение и оценка морфологических признаков пиона (*Paeonia* L.) при интродукции // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Сер. Биология. Химия, 2014. Т. 27. № 5. С. 47–62.
- [27] Былов В.Н. Основы сравнительной сортооценки декоративных растений // Интродукция и селекция цветочно-декоративных растений / под ред. Н.В. Цицина. М.: Наука, 1978. С. 7–32.
- [28] Rogers A. Peonies. Portland, Cambridge: Timber Press, 1995, 295 p.

## Сведения об авторах

**Гусев Андрей Викторович** — мл. науч. сотр. лаборатории декоративных растений, ФГБУН «Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН», [gusev.gbsran@mail.ru](mailto:gusev.gbsran@mail.ru)

**Баранова Екатерина Константиновна** — магистрант РГАУ — МСХА им. К.А. Тимирязева, [47katya070519@yandex.ru](mailto:47katya070519@yandex.ru)

**Васильева Ольга Григорьевна** — канд. биол. наук, науч. сотр. лаборатории биотехнологии растений, ФГБУН «Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН», [olgozerova@yandex.ru](mailto:olgozerova@yandex.ru)

**Мамаева Наталья Анатольевна** — канд. биол. наук, ст. науч. сотр. лаборатории декоративных растений, ФГБУН «Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН», [mamaeva\\_n@list.ru](mailto:mamaeva_n@list.ru)

Поступила в редакцию 15.03.2021.

Принята к публикации 25.04.2021.

## PHENOTYPIC TRAITS VARIABILITY OF GRASSY PEONY (*PAEONIA* L.) WITH JAPANESE FLOWER SHAPE AS PART OF ORNAMENTAL PLANTS COLLECTION LABORATORY OF MBG RAS

A.V. Gusev<sup>1</sup>, E.K. Baranova<sup>2</sup>, O.G. Vasil'yeva<sup>1</sup>, N.A. Mamaeva<sup>1</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

gusev.gbsran@mail.ru

The results of studying the variability of a number of quantitative and qualitative characteristics in a model sample of varieties of herbaceous peony with a Japanese flower shape to identify genotypes that differ in variety-specific characteristics are presented. The investigated sample is formed on the basis of the collection of the genus *Paeonia* L. laboratory of ornamental plants MBG. In the course of the study, variety-specific characteristics were established for a number of cultivars. 2 short ('Bu-Te', 'West Elktion') and 3 tall ('Yellow King', 'Hit Parade', 'Lotus Queen') varieties were selected. 3 grades are marked — 'Mrs. Wilder Bankroft', 'Midnight Sun', 'Neon' — with consistently low absolute values of the peduncle diameter at the base. 2 large-flowered ('Gold Standard', 'Surprise') and 2 small-flowered ('Bu-Te', 'Gay Paree') cultivars were identified. It was found that the largest sizes of the staminodium zone are distinguished by 'Hit Parade' and 'John van Leeuwen'. The least common variations of the bush type (in the full flowering phase) were recorded in 4 varieties 'Rahoomon', 'Feather Top', 'Largo' (compact) and 'Mr. G.F. Hemerik' (spreading). There are 2 cultivars ('Isani Gidui', 'Fairy') with probably not typical for representatives of this garden group, the type of leaf shape — *Paeonia mlokosewitschii*. 8 varieties were identified ('Philomele', 'Fairy', 'Okinava', 'Mirage', as well as 'Isani Gidui', 'Yellow King', 'Bu-Te', 'Walter Mains'), characterized by relatively sparsely distributed morphological characteristics associated with the shape of the leaf segment. The variety 'Akron' with the original (for the sample under study) variant of stem pigmentation was selected.

**Keywords:** *Paeonia*, MBS RAS, japanese flower shape, quantitative and qualitative characteristics, variability of characteristics, variety-specific features

**Suggested citation:** Gusev A.V., Baranova E.K., Vasil'yeva O.G., Mamaeva N.A. *Variabel'nost' nekotorykh fenotipicheskikh priznakov sortov pionov travyanistogo (Paeonia L.) s yaponskoy formoy tsvetka v sostave kolleksiionnogo fonda GBS RAN* [Phenotypic traits variability of Grassy peony (*Paeonia* L.) with japanese flower shape as part of ornamental plants collection laboratory of MBG RAS]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 4, pp. 77–88. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-4-77-88

### References

- [1] Aleksanyan S.M. *Sovremennyye problemy mobilizatsii mirovykh rastitel'nykh resursov: istoricheskiy i mezhdunarodnyye aspekty* [Modern problems of mobilization of the world's plant resources: historical and international aspects]. Dis. Cand. Sci. (Agric.). St. Petersburg, 2000, 27 p.
- [2] Dubrov V.M. *Piony* [Peonies]. Moscow: Fiton XXI, 2016, 208 p.
- [3] The American Peony Society — A World of Peonies. Available at: <http://www.americanpeonysociety.org> (accessed 07.01.2021).
- [4] Ippolitova N.Ya., Vasil'yeva M.Yu. *Piony* [Peonies]. Moscow: Rossel'khozizdat, 1985, 224 p.
- [5] Makedonskaya N.V. *Piony* [Peonies]. Minsk: Polymya, 1988, 192 p.
- [6] Uspenskaya M.S. *Piony* [Peonies]. Moscow: Fiton+, 2003, 208 p.
- [7] Gayshun V.V. *Piony* [Peonies]. Moscow: MSP, 2003, 32 p.
- [8] Vasil'yeva M.Yu. *Priznaki sortov travyanistykh pionov v svyazi s ikh proiskhozhdeniem* [Signs of varieties of herbaceous peonies in connection with their origin]. *Trudy po prikladnoy botanike, genetiki i selektsii* [Works on applied botany, genetics and breeding], 1980, v. 67, no. 1, pp. 147–152.
- [9] Efimov S.V. *Rod Paeonia L. Sovremennyye napravleniya introduktsii i metody otsenki dekorativnykh priznakov* [Modern directions of introduction and methods for evaluating decorative features]. Dis. Cand. Sci. (Biol.). Moscow, 2008, 22 p.
- [10] Karpisonova R.A., Bochkova I.Yu., Vasil'yeva I. V., Danilina N.N., D'yakova G.M., Kabanov A.V., Kabantseva I.N. et al. *Kul'turnaya flora travyanistykh dekorativnykh mnogoletnikov sredney polosy Rossii* [Cultural flora of herbaceous ornamental perennials of central Russia]. Moscow: Fiton+, 2011, 432 p.
- [11] Gorobets V.F. *Introduktsionnoye sortoizucheniye travyanistykh pionov*. [Introductory variety study of herbaceous peonies]. *Introduktsiya i akklimatizatsiya rasteniy* [Introduction and acclimatization of plants], v. 13. Kiev: Naukova dumka, 1991, pp. 10–15.
- [12] Ippolitova N.Ya., Uspenskaya M.S. *Piony travyanistyye i drevovidnyye* [Herbaceous and tree peonies]. Moscow: Fiton+, 2008, 64 p.
- [13] Reut A.A. *Biologiya i razmnozheniye predstaviteley roda Paeonia L. pri introduktsii v lesostepnoy zone Bashkirskogo Predural'ya* [Biology and reproduction of representatives of the genus *Paeonia* L. during introduction in the forest-steppe zone of the Bashkir Pre-Urals]. Dis. Cand. Sci. (Biol.). Ufa, 2010, 187 p.
- [14] Grib O.M., Pavlovich L.M. *Sozdanie priznakovoy kolleksii i aspekty ee ispol'zovaniya* [Creation of an indicative collection and aspects of its use]. *Izvestiya Akademii agrarnykh nauk Respubliki Belarus'*. *Seriya Zemledeliye i rasteniyevodstvo* [Bulletin of the Academy of Agrarian Sciences of the Republic of Belarus. Series Agriculture and plant growing], 2001, no. 1, pp. 34–38.

- [15] Dyakova G.M. *Paeonia L. – Peony* [*Paeonia L. – Peonies*]. Travyanistyye dekorativnyye mnogoletniki Glavnogo botanicheskogo sada im. N.V. Tsitsina RAN: 60 let introduktsii [Herbaceous decorative perennials of the Main Botanical Garden. N.V. Tsitsin RAS: 60 years of introduction]. Moscow: Science, 2009, pp. 260–288.
- [16] *Kollektsii rasteniy. Tsvetochno-dekorativnyye rasteniya* [Collections of plants. Ornamental plants]. Available at: <http://www.gbsad.ru/koll/decor/cvet.php> (accessed 22.12.2020).
- [17] *Metodika provedeniya ispytaniy na otlichimost', odnorodnost', stabil'nost'. Pion (tol'ko dlya sortov travyanistogo piona) (Paeonia L.)* [Methods of conducting tests for distinctness, uniformity, stability. Peony (only for herbaceous peony varieties) (*Paeonia L.*)]. Available at: <http://gossort.com/22-metodiki-ispytaniy-na-oos.html> (accessed 07.01.2021).
- [18] Vasil'yeva M.Yu. *Osobennosti opredeleniya sorta u pionov* [Peculiarities of determining the variety in peonies] Sortoizucheniye i razmnozheniye dekorativnykh kul'tur [Variety study and reproduction of ornamental crops]. Moscow: NIZISHP, 1980, pp. 36–45.
- [19] Dospikhov B.A. *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy)* [Field experiment technique (with the basics of statistical processing of research results)]. Moscow: Agropromizdat, 1985, 351 p.
- [20] Zaitsev G.N. *Matematicheskaya statistika v eksperimental'noy botanike* [Mathematical statistics in experimental botany]. Moscow: Nauka, 1990, 296 p.
- [21] Bylov V.N. *Osnovy sravnitel'noy sortootsenki dekorativnykh rasteniy pri introduktsii* [Fundamentals of comparative varietal evaluation of ornamental plants during introduction]. Dis. Cand. Sci. (Biol.). Moscow, 1976, 43 p.
- [22] Karpisonova R.A., Demidov A.S. *Printsipy sozdaniya i izucheniya kollektiy dekorativnykh rasteniy GBS RAN* [Principles of creation and study of collections of ornamental plants MBS RAS]. Informatsionnyy Byulleten' Soveta botanicheskikh sadov Rossii [Information Bulletin of the Council of Botanical Gardens of Russia], 1997, no. 7, pp. 25–31.
- [23] Demidov A.S., Kuzmin Z.E., Shatko V.G. *Glavnyy botanicheskiy sad im. N.V. Tsitsina RAN (Istoriya, stanovleniye i dostizheniya): k 60-letiyu osnovaniya* [Main Botanical Garden named after N.V. Tsitsin RAS (History, formation and achievements): to the 60th anniversary of the foundation]. Tula: Grif i K, 2005, 112 p.
- [24] Bondorina I.A., Kabanov A.V., Mamaeva N.A., Khokhlacheva Yu.A., Bumbeeva L.I. *Sovremennoe sostoyaniye kollektionnogo fonda laboratorii dekorativnykh rasteniy GBS RAN* [The current state of the collection fund of the laboratory of ornamental plants GBS RAS]. Izvestiya Saratovskogo un-ta. Novaya seriya. Ser. Khimiya. Biologiya. Ekologiya [Izvestia of Saratov University. New episode. Ser. Chemistry. Biology. Ecology], 2019, t. 19, v. 1, pp. 79–86. DOI:10.18500/1816-9775-2019-19-1-79-86.
- [25] Karpun Yu.N. *Osnovy introduktsii rasteniy* [Fundamentals of plant introduction]. Hortus botanicus, 2004, t. 2, pp. 17–32.
- [26] Efimov S. V. *Kompleksnoe izucheniye i otsenka morfologicheskikh priznakov piona (Paeonia L.) pri introduktsii* [Complex study and assessment of morphological characteristics of peony (*Paeonia L.*) during introduction]. Uchenye zapiski Tavricheskogo natsional'nogo universiteta im. V.I. Vernadskogo. Seriya Biologiya, Khimiya [Scientific notes of the Tavrichesky National University named after V.I. Vernadsky. Series Biology, Chemistry], 2014, v. 27, no. 5, pp. 47–62.
- [27] Bylov V.N. *Osnovy sravnitel'noy sortootsenki dekorativnykh rasteniy* [Fundamentals of comparative variety evaluation of ornamental plants]. *Introduktsiya i selektsiya tsvetochno-dekorativnykh rasteniy* [Introduction and selection of ornamental plants]. Moscow: Nauka [Science], 1978, pp. 7–32.
- [28] Rogers A. *Peonies*. Portland, Cambridge: Timber Press Publ., 1995, 295 p.

## Authors' information

**Gusev Andrey Viktorovich** — Junior Researcher of the Laboratory of Ornamental plants, The N.V. Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences, [gusev.gbsran@mail.ru](mailto:gusev.gbsran@mail.ru)

**Baranova Ekaterina Konstantinovna** — Master graduand, Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, [47katya070519@yandex.ru](mailto:47katya070519@yandex.ru)

**Vasil'eva Olga Grigor'evna** — Cand. Sci. (Biology), Researcher of the Laboratory of Plant biotechnology, The N.V. Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences, [olgozerova@yandex.ru](mailto:olgozerova@yandex.ru)

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

Received 15.03.2021.

Accepted for publication 25.04.2021.

## СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ГИДРОЛИЗОВАННОЙ ДРЕВЕСИНЫ БЕРЕЗЫ

Ю.Г. Скурыдин<sup>1</sup>, Е.М. Скурыдина<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет», 656049, Россия, г. Барнаул, пр. Ленина, д. 61

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Алтайский государственный педагогический университет», 656031, Россия, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 55

skur@rambler.ru

Исследованы структурные особенности и физико-механические характеристики композиционных материалов, полученных из гидролизованной древесины березы без добавления связующих компонентов. Обработка древесины выполнена методом взрывного автогидролиза. Изучено влияние предварительного увлажнения древесины на свойства получаемого композиционного материала. Проанализированы особенности его аморфной и кристаллической составляющих. Показано, что в композиционном материале, получаемом как из предварительно высушенной, так и увлажненной древесины, сохраняется кристаллическая фаза, присущая исходной древесине. Основные изменения в структуре древесины при получении из нее композиционных материалов происходят в аморфной компоненте. Из температурных зависимостей динамического модуля сдвига и тангенса угла механических потерь получена информация о температуре стеклования комплекса аморфных компонентов композиционного материала. Обнаружено, что область перехода макроцепей лигнина и гемицеллюлоз из стеклообразного в высокоэластическое состояние в композиционном материале по сравнению с древесиной смещена в сторону низких температур. Высказано предположение о структурной пластификации как основной причине данного явления. Выявлено, что предварительное увлажнение древесины не влияет на положение температурного перехода в аморфной составляющей композиционного материала. Получены данные о плотности, прочности на изгиб, особенностях водопоглощения и разбухания образцов композиционного материала. Показано, что увлажнение древесины перед баротермической обработкой улучшает структурную однородность композиционного материала. Установлено трехкратное увеличение значения динамического модуля сдвига при комнатной температуре по сравнению с аналогичным показателем у материала, получаемого на основе сухой древесины.

**Ключевые слова:** взрывной автогидролиз, древесина березы, композиционный материал, прочность, плотность, гидрофобные характеристики, динамический модуль сдвига

**Ссылка для цитирования:** Скурыдин Ю.Г., Скурыдина Е.М. Структурные особенности композиционных материалов из гидролизованной древесины березы // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 4. С. 89–98. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-4-89-98

Разработка новых и совершенствование традиционных технологий получения композиционных материалов на основе сырья растительного происхождения остаются актуальными задачами и в наши дни [1–10]. Практический интерес прежде всего представляет вовлечение в коммерческий оборот новых видов исходных материалов — сельскохозяйственных отходов, низкосортной древесины, отходов деревообработки, их смесей и т. п. Кроме того, использование простых методов модификации позволяет придавать получаемым композиционным материалам особые свойства — повышенную прочность, водостойкость, ударную вязкость и др., как правило, недостижимые при применении классических технологий [11].

Двухстадийный способ получения композиционных материалов из растительного сырья, основанный на его активации методом взрывного автогидролиза, известен достаточно давно [12]. Первоначально материал растительного происхождения подвергается баротермической обработке в среде насыщенного водяного пара. Гидролитические процессы, происходящие на данной стадии, способствуют частичному разрушению

лигнина и гемицеллюлоз с образованием реакционноспособных компонентов [13]. Поликонденсационные процессы, сопровождающие горячее прессование гидролизованного вещества без добавления связующих компонентов, приводят к формированию на его основе сшитых структур [14], обеспечивающих получаемому композиционному материалу механическую прочность.

При разработке технологических регламентов особый интерес представляет изучение механизмов воздействия на растительное вещество, способствующих получению композиционных материалов с улучшенными физико-механическими характеристиками. На основе информации об особенностях молекулярной подвижности, структуры кристаллических и аморфных областей исходной древесины, а также получаемого на ее основе композиционного материала, можно оптимизировать технологические режимы получения материала с высокими физико-механическими показателями.

Предполагается, что предварительное увлажнение древесины может обеспечивать увеличение эффективности процесса баротермической обработки, улучшение структурной однородности



**Рис. 1.** Исходная щепа березы (а), гидролизованная щепа березы (б) и композиционный материал (в), полученный на ее основе

**Fig. 1.** Initial birch chips (a), hydrolyzed birch chips (b) and composite material (c), obtained on its basis

и интенсификации межмолекулярного взаимодействия при получении композиционного материала на основе гидролизованной древесины.

### Цель работы

Цель работы — изучение влияния баротермической обработки сухой и предварительно увлажненной древесины березы на характер молекулярной подвижности, структуру и основные физико-механические свойства композиционного материала, получаемого из гидролизованного древесного вещества.

### Материалы и методы исследования

В качестве объекта для исследования выбраны две серии образцов плитного композиционного материала, полученного из древесины березы пушистой (*Bétula pubéscens*) после ее обработки методом взрывного автогидролиза. Исходный материал представляет собой воздушносухую технологическую щепу (ГОСТ 15815–83) со средним размером частиц  $\sim 5 \times 15 \times 25$  мм (рис. 1, а). Процесс получения композиционного материала включает в себя две стадии.

На первой стадии исходный лигноцеллюлозный материал помещается в реактор установки взрывного автогидролиза, в котором в течение заданного времени при заданных условиях подвергается баротермической обработке в среде насыщенного водяного пара. В поставленной серии температура обработки составляла 463 К (190 °С) при продолжительности процесса 600 с. Фактор жесткости, определяемый в соответствии с методом, изложенным в работе [15], составил 4466 мин. По достижении заданной продолжительности обработки выполнялась резкая, в течение не более чем 1 с, разгерметизация системы с выбросом гидролизованного материала в приемное устройство. В результате

обработки была получена древесная масса бурого цвета (рис. 1, б). Полученный материал выдерживался в условиях естественной вентиляции в закрытом помещении при температуре 293 К (20 °С) до достижения им влажности 10...18 %, после чего дополнительно высушивался при температуре 323...333 К (50...60 °С) до влажности  $\sim 5$  %.

На второй стадии высушенное гидролизованное древесное вещество в разборной пресс-форме подвергалось горячему прессованию в композиционный материал. При этом каких-либо связующих компонентов в пресс-массу не добавляли. Температура прессования составила 423 К (150 °С), удельное давление — 5 МПа. Продолжительность процесса прессования составляла около 1 мин на 1 мм толщины плитного материала. После прессования в заданных условиях выполнялось охлаждение пресс-формы вместе с образцом до температуры 313...333 К (40...60 °С).

В результате прессования получен плитный композиционный материал, характеризующийся стабильностью формы и размеров, пригодный к непосредственному исследованию с помощью различных методов (рис. 1, в).

Отличие между двумя сериями образцов состояло в том, что первая серия была получена путем баротермической обработки изначально воздушносухой, а вторая — из предварительно увлажненной древесной щепы. Предварительное увлажнение древесины выполнено посредством замачивания щепы в воде, взятой в количестве, равном одной части по массе к одной части массы древесины. Продолжительность обработки составляла 60 мин, температура  $\sim 293$  К (20 °С). В процессе предварительного увлажнения осуществлялось периодическое перемешивание материала.

Для всех образцов композиционного материала по стандартным методикам, описанным в работах [16–18], определено значение плотности, прочности при статическом изгибе, водопоглощения и разбухания за 24 ч.

Особенности молекулярной подвижности компонентов, структуры кристаллических и аморфных областей древесины и композиционного материала исследованы методами динамического механического анализа (ДМА) и широкоугольной рентгеновской дифракции. Установка ДМА, использованная в работе, реализована на основе обратного крутильного маятника. Конструктивные особенности установки и принцип ее работы описаны в работе [19]. Характер молекулярной подвижности и межмолекулярного взаимодействия компонентов композиционного материала зависят от температуры и определяют параметры колебаний динамической системы — период и логарифмический декремент затухания образца. Данные об этих параметрах фиксируются в диапазоне температур от комнатной температуры до ~ 523 К (250 °С). Частота колебаний образца составляла ~ 1 Гц. На основе полученных данных рассчитывалось значение динамического модуля сдвига  $G'$  и была построена кривая его зависимости от температуры. Температурным переходам в компонентах древесины и композиционного материала соответствуют диапазоны резкого изменения модуля  $G'$ , каждый из которых определяет область наиболее выраженных изменений в характере молекулярной подвижности компонентов. Принято считать, что подобные переходные области — это следствие размораживания подвижности фрагментов макромолекул вещества и фазовых переходов [20]. Повышение точности определения положения температурных переходов выполнено путем расчета первой и второй температурных производных модуля  $G'$  [21]. Применение метода ДМА позволяет с высокой степенью достоверности выполнить сравнительную оценку влияния тех или иных технологических факторов на структуру композиционного материала.

Исследование кристаллической фазы композиционного материала выполнено методом широкоугольной рентгеновской дифракции. Использование данного метода позволяет определить степень кристалличности материала и эффективные размеры кристаллитов, получить информацию об их дефектности и ориентации [22]. Образцы для получения дифрактограмм в виде таблеток диаметром 15 мм и толщиной 1,5...2,0 мм изготавливались из фрагментов древесины и композиционного материала методом холодного прессования. Давление прессования составляло 50 МПа.

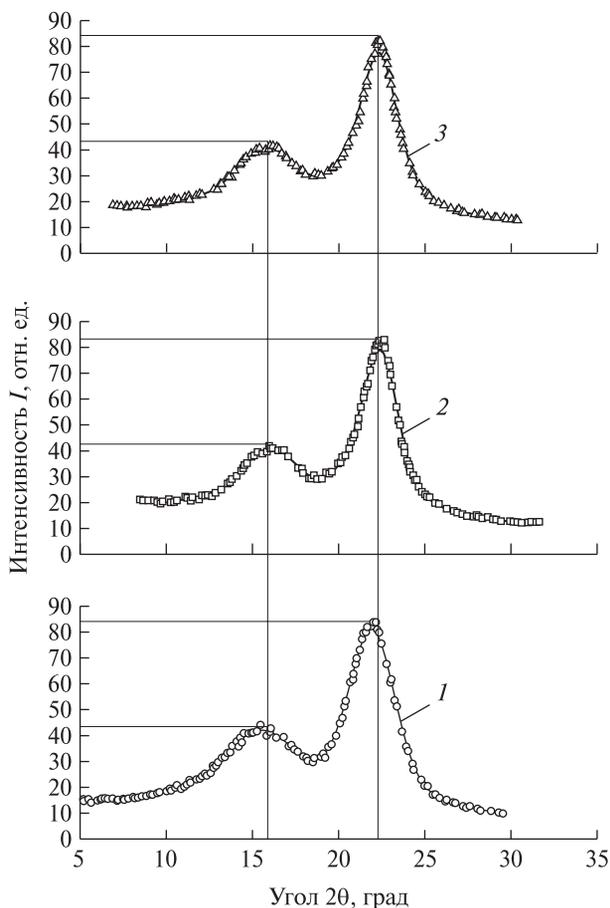
Для получения дифракционных картин был использован дифрактометр ДРОН-3 с медным антикатодом и никелевым фильтром. Длина волны излучения 0,1542 нм, рабочее напряжение 36 кВ, сила анодного тока 16 мА. Диапазон чувствительности  $1 \times 10^3$  импульсов в секунду, размер щели рентгеновской трубки 2,2 мм, размер щели детектора излучения 0,25 мм, интервал углов  $2\theta$  от 5 до 300.

Заключительная фаза исследования состояла в изучении особенностей сорбции / десорбции и диффузии паров влаги в композиционном материале. Для изучения характера десорбции была выполнена предварительная сушка образцов при температуре 343 К (70 °С) в течение 12 сут. — до стабилизации массы и толщины. Процессы сорбции и диффузии изучены следующим образом. Предварительно высушенные образцы композиционного материала помещались в среду насыщенного водяного пара при комнатной температуре на период до 120 сут. Ежедневно осуществлялось определение массы образцов, рассчитывалось количество диффундировавшей в них воды. Выполненные исследования позволили оценить особенности структуры материала, определить наличие в нем остаточных деформаций и характер их обратимости.

Результаты исследований можно использовать при изучении структуры и свойств материалов, получаемых на основе гидролизованной древесины, для исследования особенностей процессов, происходящих на разных стадиях получения композиционного материала, а также для оптимизации таких процессов.

## Результаты и обсуждение

**Кристаллическая структура.** На рис. 2 представлены широкоугольные рентгеновские дифрактограммы образцов исходной древесины березы (кривая 1) и получаемого на ее основе композиционного материала (кривые 2, 3). В композиционном материале, получаемом как из сухой (кривая 2), так и предварительно увлажненной древесины (кривая 3), сохранена кристаллическая фаза, свойственная исходной древесине. На дифрактограммах древесины и композиционного материала виден полный спектр отражений, характерных для природной целлюлозы (целлюлозы I). Отмечается несколько пиков разной интенсивности. Каждый из них представляет собой отражение от разных плоскостей кристаллической решетки [13]. Данные о степени кристалличности и эффективных размерах кристаллитов представлены в табл. 1. Значение степени кристалличности для всех образцов согласуется с литературными данными [23–25]. Отмечается лишь незначительный рост степени



**Рис. 2.** Широкоугольные рентгеновские дифрактограммы исходной древесины березы (1) и композиционного материала из сухой (2) и замоченной в воде (3) щепы  
**Fig. 2.** Wide-angle X-ray diffractograms of the original birch wood (1) and a composite of dry (2) and water-soaked (3) wood chips

Т а б л и ц а 1

**Рентгеновская степень кристалличности и эффективные размеры кристаллитов древесины березы и композиционного материала, полученного на ее основе**

X-ray degree of crystallinity and effective sizes of crystallites of birch wood and composite material obtained on its basis

Материал	Степень кристалличности, %	Размеры кристаллитов, нм
Древесина березы	60 ± 5	3,0 ± 0,1
Композиционный материал на основе высушенной древесины	65 ± 5	3,7 ± 0,1
Композиционный материал на основе увлажненной древесины	65 ± 5	3,9 ± 0,1

кристалличности композиционного материала (65 ± 5 %) по сравнению с исходной древесиной (60 ± 5 %). Нельзя исключать и отсутствие роста степени кристалличности, так как эффект

фиксируется в пределах погрешности эксперимента. При этом отмечаемое увеличение степени кристалличности может быть связано и со снижением доли аморфной составляющей в гидролизованном материале вследствие деструкции легкогидролизуемых полисахаридов и удаления низкомолекулярных продуктов реакции поликонденсации при горячем прессовании композиционного материала [14, 26].

В процессе взрывного автогидролиза происходит увеличение эффективных размеров кристаллитов (см. табл. 1). По сравнению с исходной древесиной в композиционном материале этот показатель возрастает не менее чем на 20 %. Эффект можно считать следствием увеличения доли крупных кристаллитов в объеме упорядоченной части вещества в результате разрушения мелких кристаллов [27]. Полученные результаты свидетельствуют о том, что изменения, происходящие в процессе взрывного автогидролиза древесины и ее последующего горячего прессования, лишь незначительно затрагивают кристаллические области макроцепей целлюлозы. Основные изменения должны быть обусловлены процессами в аморфной компоненте материала. Рассмотрим их более подробно.

**Механические характеристики.** По данным, полученным методом ДМА и представленным в работе [19] известно, что в древесине березы переход аморфной компоненты древесного комплекса из стеклообразного в высокоэластическое состояние происходит при температуре 467...497 К (194...224 °С). В свою очередь, из рис. 3 следует, что аналогичный переход в композиционном материале, полученном из предварительно высушенной и впоследствии гидролизованной древесины березы происходит при существенно меньшей температуре – 395...422 К (122...149 °С). Таким образом, его смещение в сторону низких температур составляет не менее 70 К. Наиболее вероятной причиной подобных изменений следует считать включение в молекулярную подвижность компонентов композиционного материала продуктов конденсации — макромолекул гибких фрагментов сахаров, образующихся из гемицеллюлоз при гидролизе [26]. Пропитка древесины водой перед проведением баротермической обработки приводит к получению композиционного материала с более плотной структурой и улучшенными физико-механическими характеристиками. В частности, динамический модуль сдвига такого материала при комнатной температуре оказывается примерно в 2,5...3,0 раза выше аналогичного показателя материала, получаемого на основе предварительно высушенной древесины, и составляет 2,4 ГПа (рис. 4). Температура стеклования аморфной компоненты при этом

существенно не изменяется. Отмечаемые различия следует рассматривать лежащими в пределах коридора методических погрешностей эксперимента. Несколько более позднее завершение процесса расстекловывания компонентов материала, полученного из предварительно увлажненной древесины, вероятно, является следствием его лучшей структурной однородности.

Свидетельством лучшей структурной однородности материала, полученного из увлажненной древесины, является симметричный характер вида первой температурной производной динамического модуля сдвига в диапазоне расстекловывания аморфной фазы (см. рис. 4). Предварительное увлажнение способствует более глубокому проникновению воды в древесину, пустоты в ней заполняются водой. Обладая большей теплопроводностью по сравнению с теплопроводностью воздуха и компонентов древесины, свободная вода способствует более быстрому и равномерному прогреву материала в реакторе установки взрывного автогидролиза. Другим следствием пропитывания древесных частиц водой является их разбухание. Это приводит к изменению геометрических размеров частиц – прежде всего в направлении поперек волокон. В процессе высокотемпературной обработки свободная вода, находящаяся в древесине, превращается в пар, что увеличивает диаметр пор и площадь внутренней поверхности материала. Все это облегчает проникновение дополнительных количеств пара извне вглубь обрабатываемого материала. Насыщенная водой древесина в подобных условиях подвергается более глубокому и интенсивному гидролизу. Увеличивается вероятность разделения древесных частиц на более мелкие и однородные фрагменты. Таким образом, эффект от предварительной пропитки древесины водой можно считать аналогом увеличения фактора жесткости гидролитического процесса без фактического увеличения его продолжительности и температуры.

Горячее прессование более однородной и мелкодисперсной гидролизованной древесной массы способствует более плотной укладке частиц. Возрастает плотность композиционного материала, повышается вероятность формирования дополнительных связей между макромолекулами вещества. Большее количество связей увеличивает жесткость системы. Соответственно, возрастает значение динамического модуля сдвига и прочностных характеристик композиционного материала (табл. 2).

Косвенным подтверждением роста эффективности межмолекулярного взаимодействия в композиционном материале, полученном из предварительно увлажненной древесины, является су-

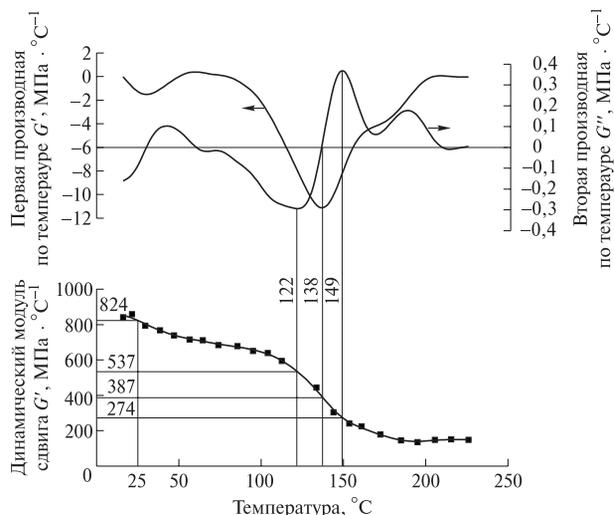


Рис. 3. Температурные зависимости динамического модуля сдвига и его температурных производных композиционного материала, получаемого на основе предварительно высушенной древесины березы

Fig. 3. Temperature dependences of the dynamic shear modulus and its temperature derivatives of the composite material obtained on the basis of pre-dried birch wood

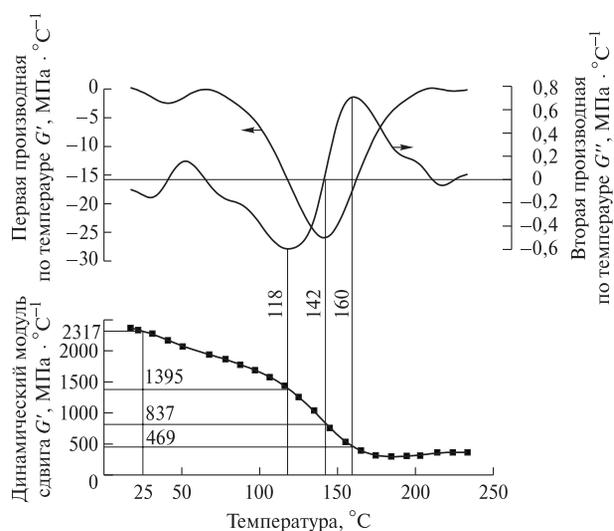


Рис. 4. Температурные зависимости динамического модуля сдвига и его температурных производных композиционного материала, получаемого на основе предварительно увлажненной древесины березы

Fig. 4. Temperature dependences of the dynamic shear modulus and its temperature derivatives of a composite material obtained on the basis of pre-moistened birch wood

шественное уменьшение в нем значения тангенса угла механических потерь в стеклообразном состоянии при комнатной температуре (см. табл. 2).

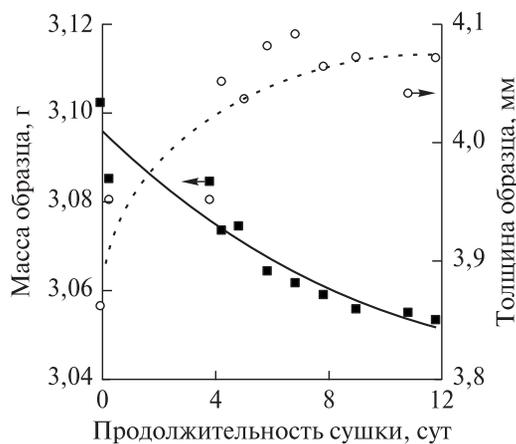
**Особенности сорбции / десорбции и диффузии.** Исследования особенностей сорбции и диффузии паров влаги в композиционном материале показали (рис. 5, 6), что он в полной мере может быть отнесен к структурнонеоднородным материалам [19]. В частности, на рис. 5 представлена динамика изменения массы и толщины образцов

Т а б л и ц а 2

**Сравнительные показатели композиционного материала, полученного из предварительно высушенной и предварительно увлажненной древесины березы (влажность образцов  $14 \pm 4\%$ )**

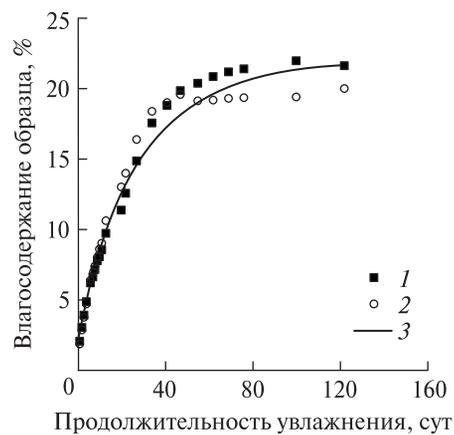
**Comparative indicators of composite material obtained from pre-dried and pre-moistened birch wood (samples humidity  $14 \pm 4\%$ )**

Композиционный материал	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Прочность при изгибе, МПа	Динамический модуль сдвига при комнатной температуре, МПа	Тангенс угла механических потерь при комнатной температуре
На основе высушенной древесины	1172	27,0	824	0,119
На основе увлажненной древесины	1234	38,0	2320	0,03



**Рис. 5.** Динамика изменения массы (■) и толщины (○) образцов композиционного материала в процессе предварительной сушки

**Fig. 5.** Dynamics of changes in the mass (■) and thickness (○) of composite material samples during pre-drying



**Рис. 6.** Динамика изменения массы образцов композиционного материала в процессе увлажнения: 1 — эксперимент 1; 2 — эксперимент 2; 3 — закон Фика

**Fig. 6.** Dynamics of changes in the mass of composite material samples during the humidification process: 1 — experiment 1; 2 — experiment 2; 3 — Fick's law

Т а б л и ц а 3

**Значения коэффициента диффузии и предельного влагосодержания в композиционном материале в зависимости от геометрических размеров образца**

**Values of the diffusion coefficient and the maximum moisture content in the composite material depending on the geometric dimensions of the sample**

Показатель	Геометрические размеры образца							
	50×50		50×25		25×25		50×8	
Размеры в плоскости образца S, мм	50×50		50×25		25×25		50×8	
Толщина образца h, мм	2	4	2	4	2	4	2	4
Коэффициент диффузии $D \times 10^7, \text{cm}^2/\text{c}$	$1,00 \pm 10\%$	$1,55 \pm 8\%$	$0,91 \pm 8\%$	$1,32 \pm 8\%$	$1,20 \pm 6\%$	$1,90 \pm 9\%$	$0,76 \pm 6\%$	$1,68 \pm 9\%$
Предельное влагосодержание образца c, %	$23,2 \pm 0,7$	$22,0 \pm 0,6$	$23,6 \pm 0,6$	$24,7 \pm 0,7$	$25,5 \pm 0,4$	$23,0 \pm 0,6$	$28,5 \pm 0,6$	$23,7 \pm 0,6$

композиционного материала в процессе предварительного высушивания. В течение первых 4...6 сут наряду с закономерным уменьшением массы вследствие десорбции отмечается увеличение толщины образцов. Наиболее вероятной причиной увеличения толщины при удалении воды следует считать релаксацию локальных напряжений, возникших в процессе однонаправленного

горячего прессования пластин композиционного материала. Таким образом, полученный материал можно считать гидрофильным композиционным материалом с выраженной неоднородной структурой. Остаточные напряжения в нем являются термовлагообратимыми.

На рис. 6 представлены результаты исследований динамики влагопоглощения композици-

онного материала. Вследствие наличия пустот в структуре, проникновение воды происходит преимущественно по ним. В процессе увлажнения выявлено неравномерное потемнение поверхности образцов, обусловленное неравномерным заполнением объема сорбированной водой. Процесс диффузии паров воды в структуру образца композиционного материала подчиняется второму закону Фика, и определяется плотностью образцов [28]:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2},$$

где  $c$  — концентрация воды в композиционном материале;

$t$  — продолжительность увлажнения;

$D$  — коэффициент диффузии;

$x$  — пространственная координата, вдоль которой происходит распространение воды в одномерном варианте.

В табл. 3 приведены значения коэффициента диффузии и предельного влагосодержания образцов композиционного материала разного размера в процессе длительной выдержки образцов в среде насыщенного водяного пара. Полученные результаты могут быть использованы для количественной оценки гидрофобных свойств материала.

## Выводы

Выявлены особенности превращений, происходящих в древесине при баротермической обработке и последующем горячем прессовании в композиционный материал. В качестве наполнителя и связующего в композиционном материале использованы исключительно компоненты гидролизованной древесины. Материал содержит как аморфную, так и кристаллическую компоненту. Аморфная составляющая представлена совокупностью редуцирующих веществ древесины, лигнина, продуктов его деполимеризации, а также остатков гемицеллюлоз и неупорядоченных цепей целлюлозы. Кристаллическая составляющая образована целлюлозными макромолекулами, сохраняющими тип кристаллической решетки и степень кристалличности, присущие исходной древесине. Основные структурные изменения, происходящие в древесине при получении композиционных материалов, связаны с изменениями в аморфной составляющей.

Обнаружено, что температурный диапазон перехода макроцепей лигнина и гемицеллюлоз в высокоэластическое состояние в композиционном материале по сравнению с исходной древесиной смещен в сторону низких температур не менее чем на 70 К. Предварительное увлажнение древесины не приводит к изменению положения температурного перехода по сравнению с материалом, получаемым на основе высушенной древесины.

При этом материал, получаемый из увлажненной древесины, характеризуется лучшей структурной однородностью, более высокими физико-механическими характеристиками.

Процессы диффузии в композиционном материале подчинены второму закону Фика. Их интенсивность коррелирует с плотностью образцов.

Полученные результаты можно использовать при изучении структуры и свойств композиционных материалов на основе гидролизованного древесного вещества, а также в процессах оптимизации технологических режимов их получения.

*Исследование выполнено в рамках реализации Программы поддержки научно-педагогических работников ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет», проект «Применение методов цифровой обработки для интерпретации экспериментальных данных о структуре и свойствах древесины и древесных композитных материалов»*

## Список литературы

- [1] Виноградов А.М., Шагалова Е.А., Воронин М.В. Строительные материалы из отходов древесины // International Scientific Review Of The Technical Sciences, Mathematics And Computer Science Collection of scientific articles VI International correspondence scientific specialized conference. Boston, USA, October 11–12, 2018. Boston, 2018. С. 21–23.
- [2] Ang A.F., Ashaari Z., Lee S.H., Tahir P.M., Halis R. Lignin-based copolymer adhesives for composite wood panels – A review // International J. of Adhesion and Adhesives, 2019, v. 95, p. 102408  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2019.102408>
- [3] Vamsi Krishna Balla, Kunal H.Kate, Jagannadh Satyavolu, Paramjot Singh, Jogi Ganesh Dattatreya Tadimetri Additive manufacturing of natural fiber reinforced polymer composites: Processing and prospects // Composites Part B: Engineering 2019, v.174, p. 106956.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.106956>
- [4] Athira G., Bahurudeen A., Srinivas Appari. Sustainable alternatives to carbon intensive paddy field burning in India: A framework for cleaner production in agriculture, energy, and construction industries // J. of Cleaner Production, 2019, v. 236, p. 117598.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.07.073>
- [5] Скурыдин Ю.Г., Скурыдина Е.М. Способ получения изоляционных композитных плит из растительных отходов. Патент РФ RU 2440234. 20.01.2012. МПК: B27N3/00, B27K9/00. Бюл. № 2.
- [6] Ashori Alireza. Hybrid thermoplastic composites using nonwood plant fibers // Hybrid Polymer Composite Vaterials. Properties and Characterisation, 2017, v. 3, pp. 39–56.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100787-7.00002-0>
- [7] Ветошкин Ю.И., Яцун И.В., Коцюба И.В. Эксплуатационные свойства композиционных материалов на основе древесины. Екатеринбург: Изд-во УГЛТУ, 2018. 100 с.
- [8] Муллина И.В., Титунин А.А. Сырьевые и экологические аспекты производства теплоизоляционных материалов из древесных отходов // Научные исследования и разработки в области дизайна и технологий. Кострома: Изд-во Костромского государственного университета, 2019. С. 283–284.

- [9] Tribot A., Amer G., Abdou Alio M., de Baynast H., Delattre C., Pons A., Mathias J.D., Callois J.M., Vial C., Michaud P., Dussap C.G. Wood-lignin: Supply, extraction process and use as bio-based material // *European Polymer Journal*, 2019, v. 112, pp. 228–240.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2019.01.007>
- [10] Nasir M., Khali D.P., Jawaid M., Tahir P.M., Siakeng R., Asim M., Khan T.A. Recent development in binderless fiberboard fabrication from agricultural residues: A review // *Construction and Building Materials*, 2019, v. 211, pp. 502–516.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.279>
- [11] Скурыдина Е.М. Разработка технологии композиционных материалов на основе древесины и полимерных наполнителей: дис. ... канд. техн. наук: 05.17.06. Барнаул, 2006. 170 с.
- [12] Mason W.H., Bochm R.M., Koonce W.E. Molding composition and process of making same. Pat. 2080078 (USA). 1937.
- [13] Fengel D., Wegener G. *Wood: Chemistry, Ultrastructure, Reactions*. Berlin, New York: De Gruyter, 1984, p. 613.
- [14] Старцев О.В. Салин Б.Н., Скурыдин Ю.Г. Баротермический гидролиз древесины в присутствии минеральных кислот // Докл. Академии наук. Химическая технология, 2000. Т. 370. № 5. С. 638–641.
- [15] Overend R.P., Chornet E. Fractionation of lignocellulosies by steam aqueous pretreatments // *Philosophical Transactions of the Royal Society A.*, 1987, v. 321, no. 1561, pp. 523–536.
- [16] ГОСТ 10634-88. Плиты древесностружечные. Методы определения физических свойств. М.: Изд-во Комитета стандартизации и метрологии СССР, 1988. 10 с.
- [17] ГОСТ 10635-88. Плиты древесностружечные. Методы определения предела прочности и модуля упругости при изгибе. М.: Изд-во Комитета стандартизации и метрологии СССР, 1988. 8 с.
- [18] ГОСТ Р 56745-2015. Пластмассы. Определение механических свойств при динамическом нагружении. Ч. 2. Метод крутильного маятника. Национальный стандарт Российской Федерации. М.: Стандартинформ, 2015. 14 с.
- [19] Скурыдин Ю.Г. Структура и свойства композиционных материалов, полученных из отходов древесины после взрывного гидролиза: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05. Барнаул, 2000. 147 с.
- [20] Перепечко И.И. Введение в физику полимеров. М.: Химия, 1978. 312 с.
- [21] Старцев О.В., Сортяков Е.Д., Исупов В.В., Насонов А.Д., Скурыдин Ю.Г., Коваленко А.А., Никишин Е.Ф. Акустическая спектроскопия полимерных композиционных материалов, экспонированных в открытом космосе // *Экспериментальные методы в физике структурно-неоднородных сред* / Под ред. Старцева О.В., Ворона Ю.Г. Барнаул: Изд-во АГУ, 1997. 148 с.
- [22] Мартынов М.А., Вылегжанина К.А. Рентгенография полимеров. Л.: Химия, 1972. 96 с.
- [23] Graczyk T., Wandelt P. *Explozyjne rozwołknianie materialow lignocelulozowych wplyw eksplozji parowej na surowce roslinowe i ich skladniki* // PRZ Pap., 1990, v. 46, no. 12, pp. 413–418.
- [24] Puri V.P. Effect of crystallinity and degree of polymerization // *Biotechnol. And Bioengng*, 1984, v. 26, no. 10, pp. 1219–1222.
- [25] Marchessault R.H., Coulombe S., Hanai T., Morikawa H. Monomers and oligomers from wood // *Trans. Techn. Sec.*, 1980, v. 6, no. 2, pp. 52–56.
- [26] Startsev O.V., Salin B.N., Skuridin Yu.G., Utemesov R.M., Nasonov A.D. Physical Properties and Molecular Mobility of New Wood Composite Plastic «Thermobalite» // *Wood Science and Technology*, 1999, v. 33, no. 1, pp. 73–83.
- [27] Иоелович М.Я., Веверис Г.П. Изучение размеров и дефектности кристаллических областей целлюлозы // *Химия древесины*, 1985. № 6. С. 30.
- [28] Заиков Г.Е., Иорданский А.Л., Маркин В.С. Диффузия электролитов в полимерах. М.: Химия, 1984. 240 с.

## Сведения об авторах

**Скурыдин Юрий Геннадьевич** — канд. техн. наук, доцент кафедры вычислительной техники и электроники ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет», [skur@rambler.ru](mailto:skur@rambler.ru)

**Скурыдина Елена Михайловна** — канд. техн. наук, доцент кафедры информационных технологий ФГБОУ ВО «Алтайский государственный педагогический университет», [skudem@rambler.ru](mailto:skudem@rambler.ru)

Поступила в редакцию 21.01.2021.

Принята к публикации 26.03.2021.

## STRUCTURAL FEATURES OF COMPOSITE MATERIALS MADE OF HYDROLYZED BIRCH WOOD

Yu.G. Skurydin<sup>1</sup>, E.M. Skurydina<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Altai State University, 61, Lenin av., 656049, Barnaul, Russia

<sup>2</sup>Altai State Pedagogical University, 55, Molodezhnaya st., 656031, Barnaul, Russia

skur@rambler.ru

Structural features and physical and mechanical characteristics of plate composite materials are investigated. The materials are obtained from hydrolyzed birch wood by hot pressing without the addition of binding components. Wood processing is carried out by the method of explosive autohydrolysis without chemical reagents. The influence of pre-moistening of wood on the structure and properties of the composite material is studied. The structural features of the amorphous and crystalline components of the composite material are studied. It was found that the composite material obtained from pre-dried and pre-moistened wood retains the crystalline phase that is present in the original wood. Changes in the structure of wood when obtaining composite materials based on it occur in the amorphous component. Based on the temperature dependences of the dynamic shear modulus and the tangent of the angle of mechanical losses, information on the glass transition temperature of a complex of amorphous components of a composite material is obtained. It was found that the region of transition of lignin and hemicellulose macrochains from a glassy to a highly elastic state in the composite material is shifted towards low temperatures in comparison with the original wood. The offset is more than 70K. It is assumed that structural plasticization is the main cause of the detected effect. Pre-moistening of wood does not affect the position of the temperature transition in the amorphous component of the composite material. The study of the diffusion and sorption of water vapor in the samples of the material shows the presence of large structural inhomogeneities. Diffusion processes obey Fick's second law and correlate with the density of samples. Data on density, static bending strength, water absorption and swelling characteristics of composite material samples were obtained. It is shown that the use of pre-moistening of wood before barothermal treatment significantly improves the structural uniformity of the resulting material. The value of the dynamic shear modulus at room temperature in comparison with the same indicator for the material obtained on the basis of dry wood increases three times. Mechanical losses are reduced, mechanical strength increases.

**Keywords:** explosive autohydrolysis, birch wood, composite material, strength, density, hydrophobic characteristics, dynamic shear modulus

**Suggested citation:** Skurydin Yu.G., Skurydina E.M. *Strukturnye osobennosti kompozitsionnykh materialov iz gidrolizovannoy drevesiny berezy* [Structural features of composite materials made of hydrolyzed birch wood]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 4, pp. 89–98. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-4-89-98

### References

- [1] Vinogradov A.M., Shagalova E.A., Voronin M.V. *Stroitel'nye materialy iz otkhodov drevesiny* [Building materials from wood waste]. International scientific review of the technical sciences, mathematics and computer science collection of scientific articles VI International correspondence scientific specialized conference. Boston, USA, October 11–12, 2018. Boston, 2018, pp. 21–23.
- [2] Ang A.F., Ashaari Z., Lee S.H., Tahir P.M., Halis R. Lignin-based copolymer adhesives for composite wood panels – A review. *International J. of Adhesion and Adhesives*, 2019, v. 95, p. 102408. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2019.102408>
- [3] Vamsi Krishna Balla, Kunal H.Kate, Jagannadh Satyavolu, Paramjot Singh, Jogi Ganesh Dattatreya Tadimetri Additive manufacturing of natural fiber reinforced polymer composites: Processing and prospects. *Composites Part B: Engineering* 2019, v.174, p. 106956. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.106956>
- [4] Athira G., Bahurudeen A., Srinivas Appari. Sustainable alternatives to carbon intensive paddy field burning in India: A framework for cleaner production in agriculture, energy, and construction industries. *J. of Cleaner Production*, 2019, v. 236, p. 117598. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.07.073>
- [5] Skurydin Yu.G., Skurydina E.M. *Sposob polucheniya izolyatsionnykh kompozitnykh plit iz rastitel'nykh otkhodov* [The method of obtaining insulating composite boards from vegetable waste]. Patent RF no. 2440234, 20.01.2012.
- [6] Ashori Alireza. Hybrid thermoplastic composites using nonwood plant fibers. *Hybrid Polymer Composite Vaterials. Properties and Characterisation*, 2017, v. 3, pp. 39–56. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100787-7.00002-0>
- [7] Vetoshkin Yu.I., Yatsun I.V., Kotsyuba I.V. *Ekspluatatsionnye svoystva kompozitsionnykh materialov na osnove drevesiny* [Performance properties of composite materials based on wood]. Ekaterinburg: UGLTU, 2018, 100 p.
- [8] Mullina I.V., Titunin A.A. *Syr'evye i ekologicheskie aspekty proizvodstva teploizolyatsionnykh materialov iz drevesnykh otkhodov* [Raw materials and environmental aspects of the production of thermal insulation materials from wood waste]. *Nauchnye issledovaniya i razrabotki v oblasti dizayna i tekhnologii*. Kostroma: Kostromskoy gosudarstvennyy universitet, 2019, pp. 283–284.
- [9] Tribot A., Amer G., Abdou Alio M., de Baynast H., Delattre C., Pons A., Mathias J.D., Callois J.M., Vial C., Michaud P., Dussap C.G. Wood-lignin: Supply, extraction process and use as bio-based material // *European Polymer J.*, 2019, v. 112, pp. 228–240. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2019.01.007>
- [10] Nasir M., Khali D.P., Jawaid M., Tahir P.M., Siakeng R., Asim M., Khan T.A. Recent development in binderless fiber-board fabrication from agricultural residues: A review // *Construction and Building Materials*, 2019, v. 211, pp. 502–516. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.279>

- [11] Skurydina E.M. *Razrabotka tekhnologii kompozitsionnykh materialov na osnove drevesiny i polimernykh napolniteley* [Development of technology for composite materials based on wood and polymer fillers]. Dis. Cand. Sci. (Tech.). Barnaul, 2006, p. 170.
- [12] Mason W.H., Bochm R.M., Koonce W.E. Molding composition and process of making same. Pat. 2080078 (USA), 1937.
- [13] Fengel D., Wegener G. *Wood: Chemistry, Ultrastructure, Reactions*. Berlin, New York: De Gruyter, 1984, p. 613.
- [14] Startsev O.V., Salin B.N., Skurydin Yu.G. *Barotermicheskiy gidroliz drevesiny v prisutstviy mineral'nykh kislot* [Barothermal hydrolysis of wood in presence of mineral acids]. *Doklady Akademii nauk Khimicheskaya tekhnologiya* [Reports of the Academy of Sciences], 2000, v. 370, no. 5, pp. 638–641.
- [15] Overend R.P., Chornet E. Fractionation of lignocelluloses by steam aqueous pretreatments. *Philosophical Transactions of the Royal Society A.*, 1987, v. 321, no. 1561, pp. 523–536.
- [16] GOST 10634-88 *Plity drevesnostruzhechnye. Metody opredeleniya fizicheskikh svoystv* [Wood particle boards. Methods for determination of physical properties]. Moscow: Komitet standartizatsii i metrologii SSSR [Standards Publishing], 1988, 10 p.
- [17] GOST 10635-88. *Plity drevesnostruzhechnye. Metody opredeleniya predela prochnosti i modulya uprugosti pri izgibe* [Particle boards. Methods for determining ultimate strength and modulus of elasticity in bending]. Moscow: Komitet standartizatsii i metrologii SSSR [Standards Publishing], p. 8.
- [18] GOST R 56745-2015. *Plastmassy. Opredelenie mekhanicheskikh svoystv pri dinamicheskom nagruzhении. Chast' 2. Metod krutit'nogo mayatnika* [Wood-shaving and wood-fiber plates. General regulations in testing physical and mechanical properties]. Moscow: Standartinform, 2015, 14 p.
- [19] Skurydin Yu.G. *Stroenie i svoystva kompozitsionnykh materialov, poluchennykh iz otkhodov drevesiny posle vzryvnogo gidroliza* [The structure and properties of composite materials obtained from wood waste after explosive hydrolysis]. Dis. Cand. Sci. (Tech.). Barnaul, 2000, p. 147.
- [20] Perepechko I.I. *Vvedenie v fiziku polimerov* [Introduction to Polymer Physics]. Moscow: Himiya, 1978, p. 312.
- [21] Startsev O.V., Sortyakov E.D., Isupov V.V., Nasonov A.D., Skurydin Yu.G., Kovalenko A.A., Nikishin E.F. *Akusticheskaya spektroskopiya polimernykh kompozitsionnykh materialov, eksponirovannykh v otkrytom kosmose* [Acoustic spectroscopy of polymer composite materials exposed in open space]. *Ekspperimental'nye metody v fizike strukturno-neodnorodnykh sred* [Experimental methods in the physics of structurally inhomogeneous media.]. Ed. Startseva O.V., Vorova Yu.G. Barnaul: ASU, 1997, p. 148.
- [22] Martynov M.A., Vylegzhanina K.A. *Rentgenografiya polimerov* [Radiography of polymers]. Leningrad: Himiya, 1972, p. 96.
- [23] Graczyk T., Wandelt P. *Explozyjne rozwlóknanie materialow lignocelulozowych wplyw eksplozji parowej na surowce roslinne i ich skladniki*. PRZ Pap., 1990, v. 46, no. 12, pp. 413–418.
- [24] Puri V.P. Effect of crystallinity and degree of polymerization. *Biotechnol. And Bioengng*, 1984, v. 26, no. 10, pp. 1219–1222.
- [25] Marchessault R.H., Coulombe S., Hanai T., Morikawa H. Monomers and oligomers from wood. *Trans. Techn. Sec.*, 1980, v. 6, no. 2, pp. 52–56.
- [26] Startsev O.V., Salin B.N., Skuridin Yu.G., Utemesov R.M., Nasonov A.D. Physical Properties and Molecular Mobility of New Wood Composite Plastic «Thermobalite». *Wood Science and Technology*, 1999, v. 33, no. 1, pp. 73–83.
- [27] Ioelovich M.Ya., Veveris G.P. *Izuchenie razmerov i defektности kristallicheskikh oblastey tsellyulozy* [Study of the size and defectiveness of the crystalline regions of cellulose] *Himiya drevesiny* [Chemistry of wood], 1985, no. 6, p. 30.
- [28] Zaikov G.E., Iordanskiy A.L., Markin V.S. *Diffuziya elektrolitov v polimerakh* [Diffusion of electrolytes in polymers]. Moscow: Himiya [Chemistry], 1984, p. 240.

## Authors' information

**Skurydin Yuriy Gennad'evich** — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Department of Computing Engineering and Electronics Altai State University, skur@rambler.ru

**Skurydina Elena Mikhaylovna** — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Department of Information Technologies Altai State Pedagogical University, skudem@rambler.ru

Received 21.01.2021.

Accepted for publication 26.03.2021.

## ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ЭКСТРАГИРОВАНИЯ БЕТУЛИНА ИЗ ОТХОДОВ БЕРЕСТЫ БЕРЕЗЫ

А.В. Сафина, Д.Р. Абдуллина, Р.Г. Сафин,  
Г.Р. Арсланова, К.В. Валеев

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» («КНИТУ»), 420015,  
Российская Федерация, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Карла Маркса, д. 68

alb\_saf@mail.ru

Представлены материалы об экспериментальных исследованиях по извлечению бетулина из бересты экстрагированием с помощью методов одноступенчатой экстракции в колбе с обратным холодильником и экстракцией в аппарате Сокслета. Установлен наибольший выход бетулина (до 40 %) при экстрагировании в аппарате Сокслета с периодическим обновлением экстрагента. Построена равновесная зависимость, необходимая для определения рационального числа ступеней контакта фаз при проектировании промышленной установки экстракции непрерывного действия. Предложена схема энерго- и ресурсосберегающей технологии экстрагирования бетулина из отходов древесины березы и разработана опытно-промышленная установка, которую можно использовать для отработки режимов получения бетулина высокой степени чистоты. Показано, что отсутствие потерь органических экстрагентов и вторичное использование флорентинной воды определяет экологическую чистоту производства. Рекомендуется использование рафинированной бересты для производства древесно-полимерных композиционных материалов или в качестве топлива для выработки тепловой энергии, что демонстрирует энерго- и ресурсосберегающий потенциал данной технологии.

**Ключевые слова:** экстракция, бетулин, береста, береза, толуол

**Ссылка для цитирования:** Сафина А.В., Абдуллина Д.Р., Сафин Р.Г., Арсланова Г.Р., Валеев К.В. Энерго- и ресурсосберегающая технология экстрагирования бетулина из отходов бересты березы // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 4. С. 99–106. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-4-99-106

**П**роблема использования древесных отходов в настоящее время приобрела устойчивую актуальность, поскольку при существующих способах переработки древесины теряется значительное количество древесной биомассы [1–3]. Использование коры березы, как правило, находит свое промышленное применение при производстве дегтя, стружечных плит и декоративных изделий из бересты. Значительную часть отходов вывозят в отвалы или сжигают, загрязняя атмосферу, почву и поверхностные воды продуктами неполного сгорания [4–6].

Кора березы — ценный вид сырья, используемый для получения веществ, обладающих широким спектром биологической активности [7]. В последнее время возрос интерес к внешнему слою коры березы — бересте, которая содержит до 50 % таких экстрактивных веществ, как бетулин, дубильные вещества, эфирное масло, гликозиды (бетулозид и гултерин) и алкалоиды. Важное значение имеют пентациклические три-терпеноиды группы лупана, в частности бетулин и его аналоги [8–10].

Содержание бетулина в коре березы варьирует от 10 до 40 %, в зависимости от сорта березы, условий и места ее произрастания, а также возраста дерева [11].

Бетулин — порошок белого или светло-кремового цвета без запаха и вкуса; слабо растворим в воде (менее 5 %), практически не растворим в

органических растворителях и имеет температуру плавления 257...259 °С [12, 13].

Применяется бетулин в основном в медицине, поскольку обладает противовоспалительными, противовирусными и антибактериальными свойствами, имеет антиоксидантную и антимуtagenную активность [14, 15]. Бетулин используется как антисептическое средство для стерилизации ран и порезов с помощью пластырей [16]. Кроме того, исследователями была обнаружена анти-ВИЧ активность бетулиновой кислоты, подавляющей репродукцию вируса [17]. Бетулин вследствие своих физико-химических свойств, биологической и фармакологической активности широко используется в пищевой промышленности, в частности как перспективная природная биологически активная добавка для различных пищевых продуктов [18–21]. Кроме того, бетулин применяется в косметологии, так как обладает сосудостабилизирующим и капилляроукрепляющим свойствами, отбеливающим эффектом и способностью угнетать активность ферментов, разрушающих волокна коллагена и эластина, тем самым омолаживая и сохраняя упругость кожи [22].

Высокое содержание бетулина во внешнем слое коры березы и его разносторонняя биологическая активность стимулируют разработку все более новых способов получения этого ценного продукта.

Большинство современных способов выделения бетулина основано на методах экстракции бересты различными растворителями. В последнее время запатентованы некоторые способы выделения бетулина с помощью толуола.

В работе А.Н. Кислицына [23] рассмотрен способ получения бетулина, который включает в себя измельчение бересты, ее экстракцию органическими растворителями в проточном экстракторе с непрерывным отбором экстракта в куб-испаритель. В кубе-испарителе концентрацию бетулина доводят до уровня, примерно в 2 раза превышающего концентрацию насыщенного раствора экстракта при температуре кипения растворителя. Затем экстракт охлаждают и отделяют бетулин фильтрацией. Пары растворителя из куба-испарителя и экстрактора конденсируют в поверхностном рекуперативном теплообменнике, и полученный конденсат возвращают в рецикл. В качестве растворителя предлагается использовать не смешивающийся с водой органический растворитель — толуол. Недостатками способа являются низкая чистота бетулина (80...85 %) и его недостаточный выход (25,4 %).

Ю.И. Стернин разработал способ получения бетулина [24], предусматривающий измельчение коры, разделение ее на бересту и луб и последующую экстракцию бересты толуолом. Измельченную бересту перемешивают с толуолом в течение 1,5...3,0 ч при температуре 90...110 °С. Полученный раствор фильтруют при температуре 40...50 °С и охлаждают в течение 6...10 ч до температуры 15 °С, но не ниже 5 °С. Выпавшие кристаллы бетулина перемешивают с маточным раствором, фильтруют, промывают чистым толуолом, снова фильтруют и сушат. К недостаткам указанного способа можно отнести сложность технологического процесса, а именно: на этапе перемешивания бересты с толуолом образуется стойкая плохо фильтруемая эмульсия, а получаемый продукт недостаточно чистый (97 %). Кроме того, при температуре фильтрации 40...50 °С бетулин начинает выделяться из толуола в кристаллической форме, забивая трубы.

В.И. Рошин и др. [25] исследовали способ получения бетулина, основанный на извлечении бетулина из бересты смесью растворителей, содержащей петролейный эфир при температуре 70...100 °С с добавлением толуола в количестве от 30 до 75 % общего объема экстрагента. Продолжительность экстракции составляет 5 ч. После экстракции горячий экстракт сливают в кристаллизатор, охлаждают и фильтруют с помощью вакуумного нутч-фильтра. Затем фильтрат подают в выпарной аппарат на упаривание. Растворитель удаляют из осадка подачей пара. К недостаткам этого способа можно отнести

малый выход целевого продукта (16...25 %) и большую продолжительность процесса экстракции (5 ч).

В.С. Климаков и др. [26] разработали способ получения бетулина, заключающийся в измельчении березовой коры, разделении ее на бересту и луб, в дальнейшем экстрагировании бересты толуолом при воздействии микроволнового излучения в течение 20 мин при температуре кипения смеси 100...110 °С или при температуре 150 °С под давлением 0,28 МПа. Недостаточный выход целевого продукта (28...33 % от массы сухой бересты) и необходимость использования сложного оборудования, работающего под высоким давлением, не позволяют выйти на промышленную реализацию данного способа.

### Цель работы

Цель работы — проведение экспериментальных исследований экстракции бетулина из березовой бересты толуолом двумя способами — методом одноступенчатой экстракции в колбе с обратным холодильником и в аппарате Сокслета, а также разработка энерго- и ресурсосберегающей технологии и опытно-промышленной установки для определения оптимальных режимных параметров экстрагирования высококачественного бетулина из отходов древесины березы.

### Материалы и методы исследования

Исследования процесса экстрагирования бетулина из бересты были проведены в одноступенчатом экстракторе (колбе) с помощью метода кипячения и в аппарате Сокслета.

В первом опыте проводилось извлечение биологически активного вещества кипячением сырья и растворителя в колбе.

Процесс экстракции бетулина осуществляли следующим образом: бересту измельчали на роторно-ножевом измельчителе и методом ситового анализа отбирали частицы размером до 1,5...2,0 мм. В круглодонную колбу, снабженную обратным холодильником, загружали 50 г измельченной бересты и заливали 200 г толуола. Собранный аппарат устанавливали в колбонагреватель и начинали нагрев.

Экстрагирование бетулина из бересты проводили при температуре кипения толуола (110 °С) в течение 4 ч. Каждый час проводили отбор проб экстракта по 10 г для определения концентрации бетулина в растворе. Отобранные пробы фильтровали с помощью фильтровальной бумаги, затем выпаривали в сушильном шкафу до полного испарения толуола. В процессе испарения на стенках и дне бюксов выпадали кристаллы бетулина.

По окончании экстрагирования отработанную бересту (рафинат) извлекали из колбы и отжи-

мали на прессе. К извлеченному рафинату добавляли воду, проводили кипячение, удаляя из него остатки толуола, которые также собирали во флорентине. Экстракт собирали в колбу, туда же заливали небольшое количество воды и полученный раствор упаривали при нагревании на электрической плитке. Образующиеся пары направляли к холодильнику, где они конденсировались. После чего во флорентине выделялись толуол и вода. Полученный дистиллят повторно использовали для экстракции.

Высушенные образцы бетулина представляли собой порошок от бледно-желтого до светло-коричневого оттенков.

Во втором опыте проводили экстракцию бетулина в аппарате Сокслета. В качестве исходного сырья использовали бересту, предварительно измельченную до размеров от 0,5...2,0 мм.

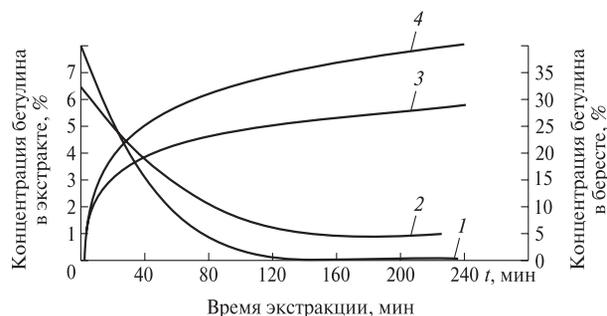
Экстракцию проводили следующим образом: экстрактор Сокслета устанавливали на круглодонную колбу, а сверху размещали обратный холодильник. В колбу заливали 200 г толуола. В резервуар, находящийся в центре аппарата, помещали «гильзу», в которую загружали 2 г экстрагируемого вещества — измельченную бересту. Растворитель нагревали до температуры кипения (110 °С). Пары, проходя через стеклянную трубку в обход «гильзы», попадали в холодильник, где конденсировались и стекали через рафинируемое вещество в резервуар. Резервуар наполнялся каплями экстрагента до тех пор, пока «гильза» не переполнялась и уровень жидкости не достигал нижнего края трубки сифона. После этого растворитель с некоторым содержанием извлеченного вещества сливался обратно в колбу, где снова испарялся. Таким образом, в аппарате Сокслета происходила непрерывная экстракция с использованием небольшого объема экстрагента. Экстрагирование проводили до тех пор, пока текущая концентрация экстракта, сливаемого в испаритель, не становилась прозрачной.

Полученный экстракт переливали в колбу, туда же добавляли 50 г воды и проводили отгонку жидкости аналогично первому опыту. После полного удаления растворителя в колбе оставалось небольшое количество воды, на поверхности которой образовывалась пленка бетулина. Прекращали нагрев, снимали колбу с плиты и давали раствору остыть. Бетулин соскребали со дна и стенок колбы деревянным шпателем и сливали в открытую емкость. Сушку бетулина осуществляли при температуре 40...60 °С в течение 1 ч.

Полученный бетулин — порошок бело-кремового цвета — взвешивали. Для получения более чистого продукта проводили рекристаллизацию бетулина в изопропиловом спирте. В результате был получен порошок белого цвета.

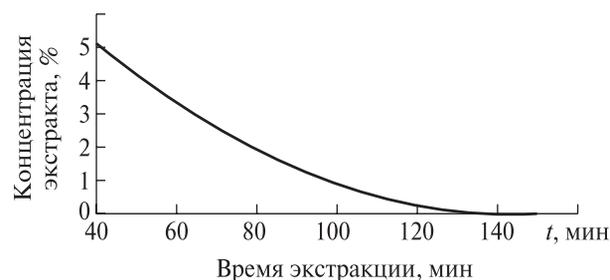
## Результаты и обсуждение

В ходе проведенных исследований экстракции бетулина из бересты были получены экспериментальные данные по изменению концентрации бетулина как в бересте, так и в экстракте при двух вариантах экстракции: путем кипячения и в аппарате Сокслета. Обработка полученных данных позволила получить кинетические зависимости (рис. 1).



**Рис. 1.** Кинетическая зависимость концентрации бетулина: 1, 2 — в бересте; 3, 4 — в экстракте; зависимости 1, 4 получены при экстрагировании в аппарате Сокслета, 2, 3 — при одноступенчатом экстрагировании в колбе

**Fig. 1.** Kinetic dependence of betulin concentration: 1, 2 — in birch bark; 3, 4 — in the extract; dependences 1, 4 were obtained with extraction in a Soxhlet apparatus, 2, 3 — with one-stage extraction in a flask



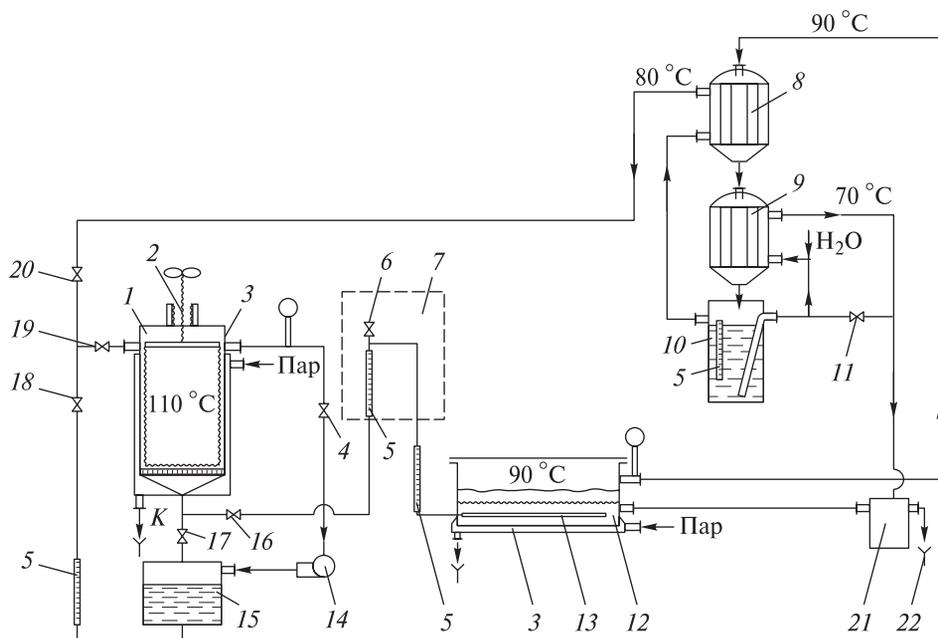
**Рис. 2.** Кинетическая зависимость концентрации экстракта в аппарате Сокслета по мере извлечения бетулина из древесины

**Fig. 2.** Kinetic dependence of the extract concentration in the Soxhlet apparatus as betulin is extracted from wood

Как и следовало ожидать, при экстрагировании в аппарате Сокслета с периодическим обновлением экстрагента выход бетулина достигал 40 %, а при одноступенчатой экстракции его выход не превышал 30 %.

В связи с изложенным при аппаратурном оформлении пилотной установки необходимо предусмотреть обновление экстрагента в процессе экстракции.

Представленная на рис. 2 кинетическая зависимость текущей концентрации экстракта в аппарате Сокслета позволила рекомендовать время экстракции для конкретного режима. В данном случае оно составляет 130 мин.



**Рис. 3.** Схема опытно-промышленной установки: 1 — экстрактор; 2 — отжимное устройство; 3 — рубашка; 4, 6, 11, 16–20 — вентили; 5 — уровнемер; 7 — блок поддержания уровня жидкости в экстракторе; 8, 9 — конденсаторы; 10 — флорентина; 12 — узел выпаривания; 13 — коллектор; 14 — компрессор; 15 — буферная емкость; 21 — сливное устройство; 22 — канализация

**Fig. 3.** Scheme of a pilot production unit: 1 — extractor; 2 — edge squeezer; 3 — shell; 4, 6, 11, 16–20 — valves; 5 — level gauge; 7 — block for maintaining the liquid level in the extractor; 8, 9 — capacitors; 10 — separating flask; 12 — evaporation unit; 13 — collector; 14 — compressor; 15 — buffer tank; 21 — drain device; 22 — sewerage

Кроме того, эта зависимость совместно с кривой 1 (см. рис. 1) позволит построить равновесную зависимость  $c_s^* = f(c_0)$ , необходимую для определения рационального числа ступеней контакта фаз при проектировании промышленной установки экстракции непрерывного действия.

На основании проведенных исследований разработана опытно-промышленная установка для получения бетулина из бересты, которую можно использовать для отработки режимов получения бетулина высокой степени чистоты (рис. 3).

Работа установки осуществляется следующим образом: процесс начинается при открытых вентиле 6 и 16 и закрытом вентиле 17. В экстрактор 1 загружается сырье в мешковине и закрывается крышкой. Экстрагент из буферной емкости 15 подают с помощью компрессора 14 при открытых вентиле 18, 19 и пар в рубашку 3.

Процесс извлечения бетулина из березовой коры включает в себя две стадии: экстракцию экстрагентом (толуолом) и сепарацию бетулина из экстракта путем перегонки в токе водяного пара. При этом бетулин накапливается в испарителе 12 над водяной пленкой и может быть подвержен дополнительной очистке путем рекристаллизации из этанола или других растворителей.

Для интенсификации массообменных процессов можно дополнительно установить пульсатор

или организовать периодическую циркуляцию экстрагента с помощью центробежного насоса при открытых вентиле 18, 19.

Процесс экстракции можно организовать в периодическом режиме при постоянной подаче свежего экстрагента с непрерывным отводом экстракта.

Экстрагент поступает в испаритель 12 через коллектор 13, погруженный в кипящую воду с температурой 100 °C, с поверхности которой испаряется толуол, оставляя над ней пленку бетулина.

Пары воды и толуола отводятся в конденсаторы 8, 9, из которых конденсат попадает во флорентину 10 и сепарируется на воду и экстрагент (толуол). Толуол возвращается в экстрактор 1 через конденсатор 8, а вода — в испаритель 12.

Для сокращения энергозатрат сепарированную воду также можно пропускать через рекуперативный теплообменник 9 путем перекрытия вентиле 11. Для контроля за уровнем жидкости в аппаратах 1, 10, 12, 15 установлены уровнемеры 5.

После завершения процесса экстракции экстрагент из флорентины 10 собирается в буферной емкости 15 при открытых вентиле 18, 20 и закрытом вентиле 19. Из рафината с помощью отжимного устройства 2 удаляют остатки экстракта.

Предлагаемая технология направлена на расширение использования всей биомассы коры березы. При такой схеме переработки можно получить биологически активное вещество — бетулин, а извлеченный из экстрактора рафинат можно использовать как топливо для выработки тепловой энергии, либо для изготовления древесного композиционного материала.

## Выводы

В результате проведенных лабораторных исследований и изучения влияния способов экстракции толуолом на выход бетулина из отходов древесины березы получены экспериментальные данные по изменению концентрации бетулина как в бересте, так и в экстракте при двух вариантах экстракции: путем кипячения и в аппарате Сокслета. Установлено, что наибольший выход бетулина (40 %) получен экстракцией в аппарате Сокслета, при этом целесообразно предусмотреть возможность обновления экстрагента. Получены кинетические зависимости концентрации экстракта в аппарате, которые позволили рекомендовать временные параметры процесса и получить равновесную зависимость для последующего определения рационального числа ступеней экстракции. В результате проведенных исследований разработана схема установки для получения бетулина, имеющая энерго- и ресурсосберегающий потенциал. Предлагаемая технология обеспечивает не только высокий выход конечного продукта (бетулина), но и способствует решению утилизации древесных отходов, в частности, коры древесины березы. Извлеченный из экстрактора рафинат можно использовать как топливо для выработки тепловой энергии или как сырье для изготовления древесных композиционных материалов.

## Список литературы

- [1] Шегельман И.Р., Кузнецов А.В. Эффективное использование лесных ресурсов. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2008. 88 с.
- [2] Иванов И.С. Развитие инновационных экотехнологий, базирующихся на использовании древесных отходов // Экономика и управление, 2009. № 12. С. 64–69.
- [3] Шегельман И.Р., Скадурва И.В. Комплексное использование лесных ресурсов. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2000. 40 с.
- [4] Борисова Т.В., Левин Б.Д. Переработка растительного сырья побочного лесопользования // Инвестиционный потенциал лесопромышленного комплекса Красноярского края / под ред. С.М. Репяха. Лесосибирск: Изд-во СибГТУ, 2001. С. 129–133.
- [5] Захаренко Г.П. Комплексное использование древесины. Йошкар-Ола: Изд-во МарГТУ, 2006. 104 с.
- [6] Сафина А.В., Арсланова Г.Р., Зиятдинова Д.Ф., Сафин Р.Г., Халитов Р.А., Абдуллина Д.Р. Моделирование процесса экстрагирования биологически активных веществ из осины и ивы // Деревообрабатывающая промышленность, 2020. № 2. С. 56–63.
- [7] Абдуллина Д.Р., Фахрутдинов Р.Р., Каримов И.Р., Гизатуллина Л.И. Экстрагирование бетулина из бересты // Новые информационные технологии как основа эффективного инновационного развития: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Волгоград, 17 января 2021 г. Уфа: Omega Science, 2021. С. 31–33.
- [8] Ведерников Д.Н., Шабанова Н.Ю., Рошин В.И. Химический состав коры березы *Betula pendula* Roth // Химия и технология растительных веществ: тез. докл. IV Всерос. науч. конф., Сыктывкар 25–30 июня 2006 г. Сыктывкар: Изд-во Коми научного центра УрО РАН, 2006. 46 с.
- [9] Абдуллина Д.Р., Фахрутдинов Р.Р., Каримов И.Р., Гизатуллина Л.И. Результаты опытов по экстракции активного вещества из древесной биомассы // Новые информационные технологии как основа эффективного инновационного развития: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Волгоград, 17 января 2021 г. Уфа: Omega Science, 2021. С. 135–137.
- [10] Сафина А.В., Сайфутдинов Д.М., Хайрутдинова А.Р., Валеев К.В. Комплексная переработка биомассы березы // Деревообрабатывающая промышленность, 2017. № 4. С. 11–17.
- [11] Сайфутдинов Д.М., Хайрутдинова А.Р., Валеев К.В. Актуальное состояние отрасли получения биологически активных веществ из биомассы березы // Традиционная и инновационная наука: история, современное состояние, перспективы: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Пермь, 10 января 2018 г. Уфа: Аэтерна, 2018. С. 111–115.
- [12] Денежкина А.А., Газетдинов Р.Р. определение содержания бетулина в коре берез рода *betula* // Инновационная наука, 2020. № 3. С. 8–10.
- [13] Сафина А.В., Сайфутдинов Д.М., Сафин Р.Г., Хайрутдинова А.Р., Асаева Л.Ш., Шайхутдинова Д.А., Валеев К.В. Обзор отечественных исследований в области получения биологически активных веществ из биомассы березы // Деревообрабатывающая промышленность, 2018. № 1. С. 56–64.
- [14] Карачурина Л.Т., Сапожникова Т.А., Зарудий Ф.С., Флехтер О.Б. Исследование некоторых фармакологических свойств бисгемифталата бетулина // Экспериментальная и клиническая фармакология, 2003. Т. 66. № 4. С. 56–59.
- [15] Кобышева А.В., Ерошенко Д.В., Гришко В.В. Лупановые производные бетулина как перспективные противоопухолевые агенты // Симбиоз-Россия 2019: материалы XI Всерос. конгр. молодых ученых-биологов с междунар. участием, Пермь, 13–15 мая 2019 г. Пермь: Изд-во ПГНИУ, 2019. С. 259–260.
- [16] Сергеев Д.В. Клинико-экспериментальная оценка противовоспалительных свойств бетулина // Клиническая патофизиология, 2013. № 1–3. С. 32–44.
- [17] Павлова О.О. Возможности применения бетулина у больных хроническим гепатитом С // Вятский медицинский вестник, 2006. № 2. 53 с.
- [18] Кролевец А.А., Мячикова Н.И., Гребенник М.М., Андреев В.С. Применение наноструктурированного бетулина при производстве кисломолочных функциональных продуктов питания // Товаровед продовольственных товаров, 2017. № 9. С. 35–41.
- [19] Исаева А.Ю., Гребенников А.В. Использование бетулина в технологии пищевых продуктов // Успехи современного естествознания, 2012. № 6. 133 с.
- [20] Кузнецова С.А., Васильева Н.Ю., Калачева Г.С., Титова Н.М., Редькина Е.С., Скворцова Г.П. Получение ди-ацетата бетулина из бересты коры березы и изучение его антиоксидантной активности // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Химия, 2008. Т. 1. № 2. С. 151–165.

- [21] Заворохина Н.В., Панкратьева Н.А., Бюлер А.В. Влияние наносуспензии бетулина на качество и длительность хранения пшеничного хлеба // Современная наука и инновации, 2019. № 4. С. 137–144.
- [22] Сергеев Д.В., Прошин С.Н., Дьячук Г.И. Ранозаживляющие и противоожоговые свойства бетулинодержащих мазей // Медико-биологические и социально-биологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях, 2011. № 2. С. 76–79.
- [23] Кислицын А.Н., Клабукова И.Н., Трофимов А.Н. Способ химической переработки бересты: Пат. 2306318 РФ, заявитель и патентообладатель ООО «Береста-ЭкоДом». Бюл. № 26. 8 с.
- [24] Стернин Ю.И. Способ получения бетулина: Пат. 2192879 РФ, заявитель и патентообладатель ЗАО «СНС-фарма». Бюл. № 32. 3 с.
- [25] Рошин В.И., Шабанова Н.Ю., Ведерников Д.Н. Способ получения бетулина: Пат. 2184120 РФ, заявитель и патентообладатель Рошин В.И. Бюл. № 18. 4 с.
- [26] Климаков В.С., Зорин А.В., Вершинин С.С., Зорин В.В. Способ получения бетулина (варианты): Пат. 2523545 РФ, заявитель и патентообладатель Уфимский государственный нефтяной технический университет. Бюл. № 20. 3 с.

## Сведения об авторах

**Сафина Альбина Валерьевна** — канд. техн. наук, доцент кафедры «Архитектура и дизайн изделий из древесины» ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», alb\_saf@mail.ru

**Абдуллина Диляра Рамилевна** — магистрант, учебный мастер кафедры «Переработка древесных материалов» ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», dilya.panda@yandex.ru

**Сафин Рушан Гареевич** — д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Переработка древесных материалов» ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», safin@kstu.ru

**Арсланова Гульшат Ринатовна** — аспирант, ассистент кафедры «Переработка древесных материалов» ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», 94arslanovagulshat@mail.ru

**Валеев Кирилл Валерьевич** — аспирант, ассистент кафедры «Переработка древесных материалов» ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», kirval116@mail.ru

Поступила в редакцию 27.04.2021.

Принята к публикации 03.06.2021.

## ENERGY-SAVING TECHNOLOGY FOR BETULIN EXTRACTION FROM BIRCH BARK WASTE

**A.V. Safina, D.R. Abdullina, R.G. Safin, G.R. Arslanova, K. V. Valeev**

Kazan National Research Technological University («KNRTU»), 68, Karl Marx st., 420015, Kazan, Republic of Tatarstan, Russia

alb\_saf@mail.ru

The paper presents experimental studies on the extraction of betulin from birch bark by one-stage extraction method in a flask with a reflux condenser and extraction in a Soxhlet apparatus. It is found that the highest betulin yield (up to 40 %) is achieved by extraction in a Soxhlet apparatus with periodic renewal of the extractant. The kinetic dependences obtained in the course of the research allows constructing an equilibrium dependence necessary to determine the rational number of phase contact stages when designing an industrial continuous extraction plant. On the basis of the studies carried out, a scheme of energy and resource-saving technology for extracting betulin from birch wood waste is proposed and a pilot plant is developed, which can be used to work out the modes of obtaining high-purity betulin. The absence of losses of organic extractants and the reuse of Florentine water determines the ecological purity of production. Refined birch bark can be used for the production of wood-polymer composite materials or as a fuel for generating thermal energy, which reflects the energy and resource-saving potential of this technology.

**Keywords:** extraction, betulin, birch bark, birch, toluene

**Suggested citation:** Safina A.V., Abdullina D.R., Safin R.G., Arslanova G.R., Valeev K.V. *Energo- i resursosberegayushchaya tekhnologiya ekstragirovaniya betulina iz otkhodov beresty breezy* [Energy-saving technology for betulin extraction from birch bark waste]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 4, pp. 99–106.

DOI: 10.18698/2542-1468-2021-4-99-106

## References

- [1] Shegel'man I.R., Kuznecov A.V. *Effektivnoe ispol'zovanie lesnykh resursov* [Efficient use of forest resources]. Petrozavodsk: Publishing house of Petrozavodsk state University, 2008, 88 p.
- [2] Ivanov I.S. *Razvitie innovatsionnykh ekotekhnologiy, baziruyushchikhsya na ispol'zovanii drevesnykh otkhodov* [Development of innovative eco-technologies based on the use of wood waste]. *Ekonomika i upravlenie* [Economics and Management], 2009, no. 12, pp. 64–69.
- [3] Shegel'man I.R., Skadorva I.V. *Kompleksnoe ispol'zovanie lesnykh resursov* [Integrated use of forest resources]. Petrozavodsk: Publishing house of Petrozavodsk state University, 2000, 40 p.
- [4] Borisova T.V., Levin B.D. *Pererabotka rastitel'nogo syr'ya pobochnogo lesopol'zovaniya* [Processing of vegetable raw materials of secondary forest use]. Investitsionnyy potencial lesopromyshlennogo kompleksa Krasnoyarskogo kraya [Investment potential of the forestry complex of the Krasnoyarsk Territory]. Lesosibirsk: Publishing house of Siberian State Technological University, 2001, pp. 129–133.
- [5] Zaharenko G.P. *Kompleksnoe ispol'zovanie drevesiny* [Integrated use of wood]. Yoshkar-Ola: Publishing house of Volga State University of Technology, 2006, 104 p.
- [6] Safina A.V., Arslanova G.R., Ziatdinova D.F., Safin R.G., Halitov R.A., Abdullina D.R. *Modelirovanie processa ekstragirovaniya biologicheskii aktivnykh veshchestv iz osiny i ivy* [Modeling the process of extracting biologically active substances from aspen and willow]. *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'* [Woodworking industry], 2020, no. 2, pp. 56–63.
- [7] Abdullina D.R., Fahrutdinov R.R., Karimov I.R., Gizatullina L.I. *Ekstragirovanie betulina iz berezy* [Extraction of betulin from birch bark]. *Novye informacionnye tekhnologii kak osnova effektivnogo innovatsionnogo razvitiya: sbornik statey mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [New information technologies as the basis for effective innovative development: collection of articles of the International Scientific and Practical Conference], Ufa: Omega Science, 2021, pp. 31–33.
- [8] Vedernikov D.N., Shabanova N.Yu., Roshchin V.I. *Himicheskiy sostav kory berezy Betula pendula Roth.* [Chemical composition of birch bark *Betula pendula* Roth.]. *Himiya i tekhnologiya rastitel'nykh veshchestv: Tezisy dokladov IV vsrossiyskoy nauchnoy konferentsii* [Chemistry and Technology of Plant Substances: Abstracts of the IV All-Russian Scientific Conference], Syktyvkar: Izd-vo Komi nauchnogo tsentra UrO RAN, 2006, 46 p.
- [9] Abdullina D.R., Fahrutdinov R.R., Karimov I.R., Gizatullina L.I. *Rezultaty opytov po ekstrakcii aktivnogo veshchestva iz drevesnoy biomassy* [Results of experiments on the extraction of active substance from woody biomass]. *Novye informacionnye tekhnologii kak osnova effektivnogo innovatsionnogo razvitiya: sbornik statey mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [New information technologies as the basis for effective innovative development: collection of articles of the International Scientific and Practical Conference], Ufa: Omega Science, 2021, pp. 135–137.
- [10] Safina A.V., Sayfutdinov D.M., Khayrutdinova A.R., Valeev K.V. *Kompleksnaya pererabotka biomassy berezy* [Complex processing of birch biomass]. *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'* [Woodworking industry], 2017, no. 4, pp. 11–17.
- [11] Sayfutdinov D.M., Khayrutdinova A.R., Valeev K.V. *Aktual'noe sostoyanie otrasli polucheniya biologicheskii aktivnykh veshchestv iz biomassy berezy* [Current state of the industry for obtaining biologically active substances from birch biomass]. *Traditsionnaya i innovatsionnaya nauka: istoriya, sovremennoe sostoyanie, perspektivy: sbornik statey mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Traditional and innovative science: history, current state, prospects: collection of articles of the International Scientific and Practical Conference]. Ufa: Aeterna, 2018, pp. 111–115.
- [12] Denezhkina A.A., Gazetdinov R.R. *Opredelenie soderzhaniya betulina v kore berez roda betula* [Determination of betulin content in bark of birch trees of the genus *betula*]. *Innovatsionnaya nauka* [Innovative Science], 2020, no. 3, pp. 8–10.
- [13] Safina A.V., Sayfutdinov D.M., Safin R.G., Khayrutdinova A.R., Asaeva L.Sh., Shaykhutdinova D.A., Valeev K.V. *Obzor otechestvennykh issledovaniy v oblasti polucheniya biologicheskii aktivnykh veshchestv iz biomassy berezy* [Review of domestic research in the field of obtaining biologically active substances from birch biomass]. *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'* [Woodworking industry], 2018, no. 1, pp. 56–64.
- [14] Karachurina L.T., Sapozhnikova T.A., Zarudiy F.S., Flekhter O.B. *Issledovanie nekotorykh farmakologicheskikh svoystv bisgemifalata betulina* [Investigation of some pharmacological properties of betulin bishemiphthalate]. *Ekspirimental'naya i klinicheskaya farmakologiya* [Experimental and Clinical Pharmacology], 2003, no. 4, pp. 56–59.
- [15] Konyshcheva A.V., Eroshenko D.V., Grishko V.V. *Lupanovyie proizvodnyie betulina kak perspektivnye protivoopukhlevyye agenty* [Lupane derivatives of betulin as promising antineoplastic agents]. *Simbioz-Rossiya 2019: mat. XI Vseros. kongr. molodykh uchenykh-biologov s mezhd. uchastiem* [Symbiosis-Russia 2019: Materials of the XI All-Russian Congress of Young Biological Scientists with International Participation]. Perm': PGNIU, 2019, pp. 259–260.
- [16] Sergeev D.V. *Kliniko-eksperimental'naya otsenka protivovospalitel'nykh svoystv betulina* [Clinical and experimental evaluation of the anti-inflammatory properties of betulin]. *Klinicheskaya patofiziologiya* [Clinical pathophysiology], 2013, no. 1–3, pp. 32–44.
- [17] Pavlova O.O. *Vozmozhnosti primeneniya betulina u bol'nykh khronicheskim gepatitom C* [Possibilities of using betulin in patients with chronic hepatitis C]. *Vyatkiy meditsinskiy vestnik* [Vyatka Medical Bulletin], 2006, no. 2, 53 p.
- [18] Krolevets A.A., Myachikova N.I., Grebennik M.M., Andreenkov V.S. *Primenenie nanostrukturirovannogo betulina pri proizvodstve kisломolochnykh funktsional'nykh produktov pitaniya* [Application of nanostructured betulin in the production of fermented milk functional foods]. *Tovaroved prodovol'stvennykh tovarov* [Food commodity specialist], 2017, no. 9, pp. 35–41.
- [19] Isaeva A.Yu., Grebenshchikov A.V. *Ispol'zovanie betulina v tekhnologii pishchevykh produktov* [The use of betulin in food technology]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Advances in modern natural science], 2012, no. 6, 133 p.
- [20] Kuznetsova S.A., Vasil'eva N.Yu., Kalacheva G.S., Titova N.M., Red'kina E.S., Skvortsova G.P. *Poluchenie diatsetata betulina iz berezy kory berezy i izuchenie ego antioksidantnoy aktivnosti* [Obtaining betulin diacetate from birch bark of birch bark and studying its antioxidant activity]. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta* [Journal of the Siberian Federal University], 2008, t. 1, no. 2, pp. 151–165.
- [21] Zavorokhina N.V., Pankrat'eva N.A., Byuler A.V. *Vliyanie nanosuspensii betulina na kachestvo i dlitel'nost' khraneniya pshenichnogo khleba* [Influence of betulin nanosuspension on the quality and duration of storage of wheat bread]. *Sovremennaya nauka i innovatsii* [Modern science and innovation], 2019, no. 4, pp. 137–144.

- [22] Sergeev D.V., Proshin S.N., D'yachuk G.I. *Ranozazhivlyayushchie i protivoozhogovye svoystva betulinosoderzhashchikh mazel* [Wound healing and anti-burn properties of betulin-containing ointments]. *Mediko-biologicheskie i sotsial'no-biologicheskie problemy bezopasnosti v chrezvychaynykh situatsiyakh* [Biomedical and socio-biological problems of safety in emergency situations], 2011, no 2, pp. 76–79.
- [23] Kislitsyn A.N., Klabukova I.N., Trofimov A.N. *Sposob khimicheskoy pererabotki beresty* [Method for chemical processing of birch bark]. Patent RF, no. 2306318, 2007. Bul. 26, 8 p.
- [24] Sternin Yu.I. *Sposob polucheniya betulina* [Method of producing betulin]. Patent RF, no. 2192879, 2002. Bul. 32, 3 p.
- [25] Roshchin V.I., Shabanova N.Yu., Vedernikov D.N. *Sposob polucheniya betulina* [Method of producing betulin]. Patent RF, no. 2184120, 2002. Bul 18, 4 p.
- [26] Klimakov V.S., Zorin A.V., Vershinin S.S., Zorin V.V. *Sposob polucheniya betulina (varianty)* [Method of producing botulin: options]. Patent RF, no. 2523545, 2014. Bul. 20, 3 p.

## Authors' information

**Safina Albina Valerievna** — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Department of Architecture and Design of Wood Products of the Kazan National Research Technological University, alb\_saf@mail.ru

**Abdullina Dilyara Ramilevna** — Master's student, Educational Master of the Department of Processing of wood materials of the Kazan National Research Technological University, dilya.panda@yandex.ru

**Safin Rushan Gareevich** — Dr. Sci. (Tech.), Professor, Head of the Department of Processing of Wood Materials of the Kazan National Research Technological University, safin@kstu.ru

**Arslanova Gulshat Rinatovna** — Assistant of the Department of Processing of wood materials of the Kazan National Research Technological University, 94arslanovagulshat@mail.ru

**Valeev Kirill Valerievich** — Ph.D. Student, assistant of the Department of Processing of wood materials of the Kazan National Research Technological University, kirval116@mail.ru

Received 27.04.2021.

Accepted for publication 03.06.2021.

## ИМПУЛЬСНАЯ СУШКА ПИЛОМАТЕРИАЛОВ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ ГРУШИ В КОНВЕКТИВНЫХ СУШИЛЬНЫХ КАМЕРАХ

Д.И. Деянов<sup>1</sup>, С.А. Моисеев<sup>1</sup>, Г.Н. Курышов, А.А. Косарин<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>ООО «Форскад», 121359, г. Москва, ул. Партизанская, д. 40

kosarin2008@yandex.ru

Дан обзор литературных источников по физико-механическим свойствам груши и использованию древесины этой породы в качестве конструктивных элементов мебели. Рассмотрены аэродинамические камеры, их достоинства и недостатки, а также направления модернизации. Обосновано использование импульсных режимов для сушки твердолиственных пород древесины, в том числе пиломатериалов из древесины груши толщиной 50 мм, опытно-промышленные сушки которой начались в модернизированной камере УРАЛ-72 в 1999 г. на ООО «Интар», Москва. Влажность образцов древесины и значение внутренних напряжений контролировались по ГОСТ 16588. Процесс импульсной сушки включал от 9 до 12 ступеней, температура на стадии «работа» находилась в диапазоне от 45 °С до 72 °С. Доказано, что использование импульсных режимов для сушки пиломатериалов из груши, позволяет экономить до 30 % электроэнергии.

**Ключевые слова:** пиломатериалы древесины груши, импульсная сушка, режимы сушки

**Ссылка для цитирования:** Деянов Д.И., Моисеев С.А., Курышов Г.Н., Косарин А.А. Импульсная сушка пиломатериалов из древесины груши в конвективных сушильных камерах // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 4. С. 107–111. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-4-107-111

Груша получила ботаническое название от двух латинских слов *pirus* (дерево) и *piru* (фрукт), поэтому второе название рода *piruspirasten*. Род главным образом листопадных деревьев, реже кустарников семейства розоцветных (*rosaceae*), широко распространенных по всей планете. Оно насчитывает около 100 родов и 3000 видов. Розоцветные включают в себя плодовые деревья (яблоню, грушу, сливу, айву и др.), декоративные (розу, боярышник и т. д.) и лекарственные растения (лавровишню, малину и т. д.) [1]. Высота груши составляет от 5 до 30 м. Ствол диаметром до 80 см, иногда до 120 см. Груша начинает плодоносить на третьем-четвертом, чаще на восьмом-десятом году. Стоимость одного кубического метра древесины груши составляет в среднем 90 000 руб.

Груша цветет в апреле — мае, одновременно с появлением листьев. Цветки бесполое, белые, реже розовые. Плод (дикий) похож на яблоко, созревает в июле — сентябре (в зависимости от климатической зоны), содержит многочисленные семена. Цвет плодов от желто-зеленого до желто-бурого. Живет груша от 50 до 300 лет. К почве довольно требовательна, засухоустойчива и сравнительно морозостойка. На территории России насчитывается до 40 видов [2, 3].

### Цель работы

Цель работы — разработка технологии импульсной сушки пиломатериалов из древесины груши в конвективных сушильных камерах.

### Материалы и методы исследования

Груша рассеянно-сосудистая, безъядровая, спелодревесная порода. На поперечном разрезе сосуды мало заметны вследствие своих малых размеров. Годичные слои и сердцевинные лучи на продольном разрезе слабо различимы. Древесина груши имеет окраску от розовато-желтого (у молодых деревьев) до буровато-красного (у более старых). Груша отличается высокой равноплотностью. Разница между ранней и поздней древесиной практически незаметна.

Груша относится к сильноусыхающим породам. В процессе сушки груша мало коробится и практически не растрескивается (при соблюдении основных параметров сушильного процесса). Влажность свежесрубленной древесины достигает 95...98 % [4]. Основные виды груши относятся к породам средней плотности. Плотность груши обыкновенной при влажности 12 % составляет 710 кг/м<sup>3</sup>, абсолютно-сухой древесины — 680 кг/м<sup>3</sup>, базисная плотность — 585 кг/м<sup>3</sup> [4–6]. Древесина груши обладает высокими прочностными показателями: предел прочности при статическом изгибе 106 МПа, при сжатии вдоль волокон — 57,5 МПа, модуль упругости при статическом изгибе — 11,9 МПа [5, 6].

Груша обладает приятным цветом, красивой текстурой, повышенной прочностью, хорошо подвергается полировке, шлифовке и удобна для отделочных работ. Древесина груши применяется

в различных областях, например, для изготовления деталей музыкальных инструментов, паркета, стеновых панелей, элементов лестниц, погонажных изделий и т. д. При этом она хорошо гармонирует с другими материалами: латунью, бронзой, хромированной сталью, медью [7, 8].

Среди многообразия сушильных камер периодического действия широко применяются сушильные камеры с аэродинамическим нагревом агента сушки (ПАПЗ2, УРАЛ–72, СКАН и т. д.). В этих камерах калориферы отсутствуют. Выделение тепла происходит за счет аэродинамических потерь, вызванных образующимися завихрениями и трением потока воздуха о полости роторного вентилятора, обладающего низким аэродинамическим коэффициентом полезного действия. Скорость нагрева сушильного агента определяется мощностью, потребляемой вентилятором, регулируется частотой вращения (используются четырехскоростные электродвигатели мощностью от 55 до 75 кВт). Недостатком камер аэродинамического подогрева является большой расход электроэнергии и невозможность проведения начального прогрева, влаготеплообработки и кондиционирования древесины из-за отсутствия системы увлажнения [9, 10].

На кафедре защиты древесины и древесиноведения Московского государственного университета леса (МГУЛ) в 1992–1995 гг. были выполнены работы по модернизации аэродинамических сушильных камер на ООО «Дриада» (г. Долгопрудный) и ООО «Интар» (г. Москва).

На ООО «Интар» аэродинамическая камера УРАЛ–72 была модернизирована по схеме конвективной сушильной камеры с поперечно-горизонтальной циркуляцией. Роторный вентилятор был замещен на два осевых вентилятора № 10 общей мощностью 11 кВт и трехсекционным электрокалорифером мощностью 60 кВт. Приточно-вытяжные каналы снабжены электрическим исполнительным механизмом, установлен психрометрический узел. Для применения импульсных режимов для сушки хвойных и лиственных пород древесины была установлена система автоматического контроля и управления [11].

Суть импульсных режимов состоит в следующем. Сушка материала проводится циклами, каждый из которых включает в себя две стадии. На первой стадии (стадия «импульс») сушка пиломатериалов проходит в воздухе при повышенной температуре и низкой влажности. В камере осуществляется циркуляция сушильного агента и воздухообмен с окружающей средой. Эта стадия характеризуется аккумулярованием древесиной тепла и высокой интенсивностью процесса сушки.

На второй стадии (стадия «пауза») прекращается работа систем циркуляции, теплоснабжения

и воздухообмена. Для этого периода характерно замедление процесса испарения влаги из древесины, использование тепла, полученного материалом на первой стадии («импульс»), повышение влажности агента сушки за счет влаги, поступающей из материала, увеличение влажности на поверхности вследствие возрастания равновесной влажности. При этом происходит выравнивание влажности по толщине материала, что снижает сушильные напряжения, понижает температуру на поверхности материала за счет испарения с поверхности воды, вызывая интенсивное движение влаги к поверхности [11, 12].

На ООО «Интар» после проведенной модернизации аэродинамической камеры с 1999 по 2002 гг. были начаты опытно-промышленные сушки необрезных пиломатериалов из груши, со следующими параметрами:

Толщина, мм ..... 50  
 Длина, м ..... 4,2...4,5  
 Начальная влажность, %..... 50...65

Импульсная сушка включала в себя следующие технологические операции:

- прогрев пиломатериалов продолжительностью от 3 до 5 ч;
- многоступенчатую сушку от 9 до 12 ступеней;
- кондиционирование пиломатериалов от 10 до 12 ч.

Температура сушильного агента на стадии «работа» поддерживались в диапазоне 45...72 °С. С помощью контрольных образцов в процессе сушки контролировалась текущая влажность и внутренние напряжения в древесине, а также прогнозировались внутренние напряжения в конце сушки. Пиломатериалы высушивались до конечной влажности 6...7 % по I и II категориям качества. Общий объем высушенных пиломатериалов из груши составил около 70 м<sup>3</sup> [13]. С 2008 по 2012 гг. сушка пиломатериалов из груши импульсными режимами проводилась в стационарных сушильных камерах периодического действия учебно-производственных мастерских МГУЛ (ныне Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана).

## Результаты и обсуждение

В работе [14] приведены статистические данные, связанные с изменением плотности, набухания, равновесной влажности и цвета, а также механических свойств (прочности на сжатие, прочности на изгиб и модуля упругости при изгибе образцов древесины дикой груши после термической обработки).

Использованию древесины груши при изготовлении из нее различных изделий препятствует отсутствие в специальной технической и нормативной литературе (ГОСТ, РТМ — Руководящих

технических материалах и справочниках по сушке древесины) режимов сушки этой породы в конвективных сушильных камерах [15–18].

Следует отметить, что иногда в технической литературе встречаются режимы сушки пиломатериалов из груши для паровых лесосушильных камер. Так, в работе [19] приведен трехступенчатый режим сушки, который начинается с пропарки при температуре 110 °С. После пропарки влажность материала достигает 130 %. Температура агента сушки после пропарки на первом этапе устанавливается 70 °С при реверсивной циркуляции воздуха со скоростью 1,5 м/с. На втором этапе при влажности 22 % проводится влаготеплообработка и устанавливается температура в 30 °С. Сушка заканчивается через 3...5 дней при достижении влажности 9...10 %. В другой работе [20] представлено шестиступенчатое изменение параметров агента сушки для грушевых пиломатериалов толщиной 50 мм (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

**Шестиступенчатый режим сушки пиломатериалов из древесины груши толщиной 50 мм**

**Six-stage drying mode for 50 mm thick pear timber**

Влажность древесины, %	Температура агента сушки, °С	Психрометрическая разность, °С, $\Delta t$	Степень насыщения агента сушки, %
>30	43,5	2	90
30...25	49	2,5	88
25...20	54,5	3,5	84
20...15	60	5,5	75
15...10	71	14	51
<10	71	27,5	21

Т а б л и ц а 2

**Режимы импульсной сушки пиломатериалов из древесины груши толщиной 50 мм**

**Modes of pear wood 50 mm thick impulse drying**

Время, сут	Температура агента сушки, °С	Режимы сушки		Текущая влажность древесины, %
		Время работы, ч	Время паузы, ч	
1	45	1	3	44,3
6	47	1	3	35,6
9	50	2	3	32,2
13	53	2	3	30,4
17	56	2	3	27,4
22	60	2	2,5	22,0
25	63	2	2,5	18,7
28	66	2	2	15,1
31	69	2	2	13,0
33	72	2	2	10,4
38	72	2	2	7,1

Приведенные режимы с использованием водяного пара в качестве теплоносителя имеют ограниченное применение на предприятиях вследствие отсутствия парового хозяйства.

В табл. 2 приведен пример импульсной сушки пиломатериалов из древесины груши толщиной 50 мм, в котором вместо водяного пара, подаваемого в сушильное пространство камеры, используется влага, испаряемая из древесины [21–23].

## Выводы

Проведенные опытно-промышленные сушки пиломатериалов из древесины груши подтвердили возможность их использования в деревообрабатывающем производстве.

## Список литературы

- [1] Сукачев В.Н. Дендрология с основами геоботаники. М. Гослестехиздат, 1934. 616 с.
- [2] Лесная энциклопедия: в 2-х т. / под ред. Г.И. Воробьева. М.: Советская энциклопедия, 1985. 563 с.
- [3] Кайгородов Д.Н. Беседы о русском лесе. М.: Белый город, 2010. 304 с.
- [4] Груша. Реар. Род *Pirus* // Дерево.RU, 2003, № 4. С. 22–26.
- [5] Джонс В.С. Древесные породы мира, их строение и отличительные признаки. М.: Гослестехиздат, 1932. 171 с.
- [6] Боровиков А.М., Уголев Б.Н. Справочник по древесине. М.: Лесная пром-сть, 1989. 296 с.
- [7] Сологуб М. Тайна грушевого сундука // Дерево.RU, 2003, № 4. С. 28–29.
- [8] Проскурня Н. Уходящее ремесло // Дерево.RU, 2003, № 4. С. 106–109.
- [9] Серговский П.С. Режимы и проведение камерной сушки пиломатериалов. М.: Лесная пром-сть, 1976. 136 с.
- [10] Расев А.И. Сушка древесины. М.: Высшая школа, 1990. 224 с.
- [11] Расев А.И., Курышов Г.Н. Технология сушки пиломатериалов в аэродинамических камерах // Деревообработка в России, 1998. № 1. С. 3–4.
- [12] Косарин А.А. Технология импульсной сушки пиломатериалов: автореф. дис. ... канд. тех. наук, 2012. 22 с.
- [13] Курышов Г.Н. Сушка пиломатериалов из груши импульсными режимами // Технология и оборудование для переработки древесины: науч. тр. МГУЛ. Вып. 319. М.: 2003. 198 с.
- [14] Gunduz G., Aydemir D., Karakas G. The effects of thermal treatment on the mechanical properties of wild Pear (*Pyrus elaeagnifolia* Pall.) wood and changes in physical properties // Materials and Design, 2009, v. 30, pp. 4391–4395.
- [15] Пиломатериалы хвойных и лиственных пород. Режимы сушки в камерах периодического действия. Пиломатериалы, заготовки, деревянные детали. М.: Издательство стандартов, 1990. 464 с.
- [16] Руководящие технические материалы по технологии камерной сушки пиломатериалов. Архангельск: ОАО «Научдревпром — ЦНИИМОД», 2000. 125 с.
- [17] Богданов Е.С., Козлов В.А., Кунтыш В.Б., Мелехов В.И. Справочник по сушке древесины. М.: Лесная пром-сть, 1990. 304 с.
- [18] Акулов Д.Г. Карманный справочник по сушке древесины и древесиноведению. URL: [https://www.intevesp-stanki.ru](https://www.intervesp-stanki.ru) (дата обращения 12.12. 2020).
- [19] Кедров А. Ценность древесины плодовых деревьев // ЛесПромИнформ, 2012. № 7 (89). С. 24–26.

- [20] Boone R.S., Kozlik C.J., Bois P.J., Wengert E.M. Dry kiln schedules for commercial woods. Temperate and tropical. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-57. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1988, 158 p.
- [21] Расев А.И., Курышов Г.Н., Косарин А.А., Расева Е.А. Способ сушки пиломатериалов. Пат. №2027127 Российской Федерация. Оpubл. 11.01.2017. Бюл. № 2.
- [22] Курышов Г.Н., Косарин А.А., Косарина А.А. Способ импульсной сушки пиломатериалов. Пат. №2637288. Российская Федерация. Оpubл. 01.12.2017. Бюл. № 34

## Сведения об авторах

**Деянов Дмитрий Игоревич** — магистрант МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), d.dejanov@yandex.ru

**Моисеев Сергей Андреевич** — магистрант МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), rf-baf2@mail.ru

**Курышов Григорий Николаевич** — канд. техн. наук, доцент, kuryshov@mgul.ac.ru

**Косарин Анатолий Александрович** — канд. техн. наук, доцент, заместитель директора ООО «Форсклад», kosarin2008@yandex.ru

Поступила в редакцию 12.03.2021.

Принята к публикации 07.06.2021.

## CONVECTIVE HOT-AIR CHAMBERS IMPULSE DRYING OF PEAR WOOD LUMBERS

**Deyanov D.I.<sup>1</sup>, Moiseev S.A.<sup>1</sup>, Kuryshov G.N., Kosarin A.A.<sup>2</sup>**

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

<sup>2</sup>ООО «Форсклад», 40, Partizanskaya st., 121359, Moscow, Russia

kosarin2008@yandex.ru

A review of literary sources on the physical and mechanical properties of pearwood and its use as structural elements of furniture is given. The aerodynamic chambers, their advantages and disadvantages, as well as their modernization are considered. The use of impulse modes for drying hardwood is substantiated, including sawn timber from pear wood 50 mm thick, pilot drying of which began in the modernized URAL-72 chamber in 1999 at Intar LLC, Moscow. The moisture content of the wood samples and the value of internal stresses were controlled in accordance with GOST 16588. The process of impulse drying included from 9 to 12 steps, the temperature at the operating stage ranged from 45 °C to 72 °C. It has been proved that the use of pulse modes for drying pear timber saves up to 30% of electricity.

**Keywords:** lumber of pear wood, impulse drying, drying modes

**Suggested citation:** Deyanov D.I., Moiseev S.A., Kuryshov G.N., Kosarin A.A. *Impul'snaya sushka pilomaterialov iz drevesiny grushi v konvektivnykh sushil'nykh kamerakh* [Convective hot-air chambers impulse drying of pear wood lumbers]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 4, pp. 107–111.

DOI: 10.18698/2542-1468-2021-4-107-111

## References

- [1] Sukachev V.N. *Dendrologiya s osnovami lesnoy geobotaniki* [Dendrology with the basics of forest geobotany]. Leningrad: Gosleshtekhizdat, 1934, 616 p.
- [2] *Lesnaya entsiklopediya* [Forest encyclopedia], in 2 vol. Ed. G.I. Vorobyov. Moscow: Sovetskaya entsiklopediya [Soviet encyclopedia], 1985, 563 p.
- [3] Kaygorodov D.N. *Besedy o russkom lese* [Conversations about the Russian forest]. Moscow: Belyy gorod, 2010, 304 p.
- [4] *Grusha. Pear. Rod Pirus* [Pear. Pear. Rod Pirus]. Derevo.RU, 2003, pp. 22–26.
- [5] Jons V.S. *Drevesnye porody, ikh stroenie i otlichitel'nye priznaki* [Tree species their structure and distinctive features]. Moscow: Gosleshtekhizdat [State Forest Technical Publishing], 1932, 171 p.
- [6] Borovikov A.M., Ugolev B.N. *Spravochnik po drevesiny* [Handbook of wood]. Moscow: Lesnaya prom-st' [Timber industry], 1989, 296 p.
- [7] Sologub M. *Tayna grushevogo sunduchka* [The Mystery of the Pear Chest]. Derevo.RU, 2003, pp. 28–29.
- [8] Proskurnya N. *Ukhodyashchee remeslo* [The outgoing craft]. Derevo.RU, 2003, pp. 106–109.
- [9] Sergovskiy P.S. *Rezhimy i provedenie kamernoy sushki pilomaterialov* [Modes and chamber drying of lumber]. Moscow: Forest industry, 1976, 136 p.
- [10] Rasev A.I. *Sushka drevesiny* [Drying of wood]. Moscow: Vysshaya shkola [Higher school], 1990, 224 p.
- [11] Rasev A.I., Kuryshov G.N. *Tekhnologiya sushki pilomaterialov v aerodinamicheskikh kamerakh* [Technology of drying sawn timber in aerodynamic chambers]. *Woodworking in Russia*, 1998, no. 1, pp. 3–4.

- [12] Kosarin A.A. *Tekhnologiya impul'snoy sushki pilomaterialov: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk* [Technology of pulsed drying of lumber: author. Dis. ... Cand. Sci. (Tech.)], 2012, 22 p.
- [13] Kuryshov G.N. *Sushka pilomaterialov iz grushi impul'snymi rezhimami* [Drying of lumber from pears by impulse modes]. *Tekhnologiya i oborudovanie dlya pererabotki drevesiny: Nauchnye trudy* [Technology and equipment for wood processing: Scientific works]. Iss. 319. Moscow: MGUL, 2003, 198 p.
- [14] Gunduz G., Aydemir D., Karakas G. The effects of thermal treatment on the mechanical properties of wild Pear (*Pyrus elaeagnifolia* Pall.) wood and changes in physical properties. *Materials and Design*, 2009, v. 30, pp. 4391–4395.
- [15] *Pilomaterialy khvoynnykh i listvennykh porod. Rezhimy sushki v kamerakh periodicheskogo deystviya. Pilomaterialy, zagotovki, derevyannye detali* [Lumber of coniferous and deciduous species. Drying modes in batch chambers. Lumber, blanks, wooden parts]. Moscow: Standards Publishing House, 1990, 464 p.
- [16] *Rukovodyashchie tekhnicheskie materialy po tekhnologii kamernoy sushki pilomaterialov* [Guiding technical materials on the technology of chamber drying of sawn timber]. Arkhangelsk: Nauchdrevprom-TsNIIMOD, 2000, 125 p.
- [17] Bogdanov E.S., Kozlov V.A., Kuntyshev V.B., Melekhov V.I. *Spravochnik po sushke drevesiny* [Handbook of wood drying]. Moscow: Lesnaya prom-st' Publ. [Forest Industry], 1990, 304 p.
- [18] Akulov D.G. *Karmannyi spravochnik po sushke drevesiny i drevesinovedeniyu* [Pocket guide to wood drying and wood science]. Available at: [www.intervesp-stanki.ru](http://www.intervesp-stanki.ru) (accessed 12.12.2020).
- [19] Kedrov A. *Tsennost' drevesiny plodovykh derev'ev* [The value of the wood of fruit trees]. *LesPromInform*, 2012, no. 7 (89), pp. 24–26.
- [20] Boone R.S., Kozlik C.J., Bois P.J., Wengert E.M. Dry kiln schedules for commercial woods. Temperate and tropical. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-57. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1988, 158 p.
- [21] Rasev A.I., Kuryshov G.N., Kosarin A.A., Raseva E.A. *Sposob sushki pilomaterialov* [Lumber drying method]. Pat. No. 2027127 Russian Federation. Publ. 11.01.2017. Bul. no. 2.
- [22] Kuryshov G.N., Kosarin A.A., Kosarina A.A. *Sposob impul'snoy sushki* [Pulse drying method]. Pat. No. 2637288. Russian Federation. Publ. 12.01.2017.

## Authors' information

**Deyanov Dmitriy Igorevich** — Master graduand of the BMSTU (Mytishchi branch), [d.dejanov@yandex.ru](mailto:d.dejanov@yandex.ru)

**Moiseev Sergey Andreevich** — Master graduand of the BMSTU (Mytishchi branch), [rf-baf2@mail.ru](mailto:rf-baf2@mail.ru)

**Kuryshov Grigoriy Nikolaevich** — Cand. Sci. (Tech.), [kuryshov@mgul.ac.ru](mailto:kuryshov@mgul.ac.ru)

**Kosarin Anatoliy Aleksandrovich** — Cand. Sci. (Tech.), Deputy Director of the LTD «Forcklad», [kosarin2008@yandex.ru](mailto:kosarin2008@yandex.ru)

Received 12.03.2021.

Accepted for publication 07.06.2021.

## ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАНГОВЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ФАКТОРОВ ВЫВОЗКИ ДРЕВЕСИНЫ С ЛЕСНЫХ УЧАСТКОВ

А.П. Мохирев<sup>1</sup>, К.П. Рукомойников<sup>2</sup>, П.М. Мазуркин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», 660041, Россия, г. Красноярск, пр. Свободный, д. 82

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», 424000, Россия, Республика Марий Эл, Йошкар-Ола, пл. Ленина, д. 3

ale-mokhirev@yandex.ru

Рассмотрен вопрос моделирования скорости движения лесовозов в различных природных условиях Красноярского края. Результаты получены на основе многократных наблюдений за скоростью лесовозов на различных участках лесных дорог. Представленные результаты основаны на выборе и анализе факторов, которые предположительно могут оказывать какое-либо влияние на скорость движения лесовозов при вывозке лесоматериалов. Проведен анализ добротности каждого из факторов путем рангового распределения полученных закономерностей и составления рейтинга проведенных натурных экспериментов по многофакторному анализу вывозки древесины. Выполнение расчетов и моделирование осуществлялось в программной среде CurveExpert-1.40 и программном комплексе Microsoft Office Excel в среде РАНГ. Проведена оценка адекватности закономерностей ранговых распределений факторов вывозки древесины с лесной территории по коэффициенту корреляции с использованием программной среды CurveExpert-1.40. В результате получены модели суммарного и частного влияния факторов от самих себя (монарное соотношение) по рангам, которые были расставлены до моделирования по каждому фактору в направлении изменения уровня их предпочтительности факторов от лучшего к худшему. При анализе добротности экспериментов, все анализируемые факторы получили коэффициент корреляции выше 0,97, что соответствует уровню адекватности «сильнейшая факторная связь». Это позволило сложить ранги у всех 35 факторов и по сумме рангов выявить рейтинг в системе факторов. В работе представлены математические зависимости ранговых распределений и построенные по ним графики. В результате моделирования получены регрессионные зависимости и доказана добротность значений факторов, использованных авторами в ходе выполнения производственных экспериментов.

**Ключевые слова:** природно-производственные факторы, ранжирование, закономерности, добротность

**Ссылка для цитирования:** Мохирев А.П., Рукомойников К.П., Мазуркин П.М. Закономерности ранговых распределений факторов вывозки древесины с лесных участков // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 4. С. 112–120. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-4-112-120

Производительность лесовозного транспорта, или его скорость движения, является одним из основных показателей, характеризующих эффективность технологического процесса при освоении лесных ресурсов [1, 2]. На скорость движения транспорта влияют условия, сложившиеся на дорогах, которые существенно усложняются при неблагоприятных погодных явлениях [3, 4].

Чем выше категория дороги, интенсивность и скорость движения по ней, тем меньшее влияние оказывают природно-климатические факторы на его режим [5].

В связи с этим возникает необходимость разработки математических зависимостей для расчета скорости лесовозного транспорта. На сегодняшний день опубликованы труды многих ученых, посвященные данному вопросу [6–8]. В работах [9–11] приведены зависимости для определения скорости лесовозного автопоезда во всех режимах движения с учетом различных факторов. Полученные результаты характеризуются высокой точностью и приближенностью к реальным значениям. Однако влияние природно-климатических факторов в данных исследованиях отражено частично.

В исследованиях [12, 13] рассматриваются характеристики автомобильных дорог, по которым осуществляется вывозка лесоматериалов. Авторы выявили закономерности в изменении скоростных режимов движущихся транспортных средств на основании практических наблюдений за отдельными участками дороги.

В работах [14, 15] определены зависимости режимов движения на отдельных участках дороги от погодных условий. Установлено, что средняя скорость автомобиля изменяется в течение года в широком диапазоне в зависимости от дорожных условий даже на прямых горизонтальных участках.

При проведении исследований важно оценить добротность измерения всех учетных факторов, влияющих на наиболее значимые природно-производственные процессы [16].

### Цель работы

Цель работы — оценить добротность анализируемых факторов, путем рангового распределения полученных закономерностей и составления рейтинга проведенных натурных экспериментов по многофакторному анализу вывозки древесины.

**Фрагмент таблицы значений факторов для проведения  
ранжирования среди 162 значений**

Fragment of the table of factor values for ranking among 162 values

Группа факторов	Наименование фактора	Обозначение фактора (код)	Номер эксперимента		
			1	2	...162
Время въезда на участок дороги	номер месяца в году	$x_1$	6	7	3
	номер суток в месяце	$x_2$	9	13	30
	номер часа в сутках	$x_3$	17,5	0,9	2,85
	время движения по участку дороги, мин	$x_4$	1,4	1,6	1,3
Приведенные координаты центра участка	широта (за 0 взята 57,93099)	$x_5$	0,77305	0,75343	0,47915
	долгота (за 0 взята 90,70971)	$x_6$	4,35617	4,5169	1,22367
	высота н. у. м., м	$x_7$	476	403	82
Параметры водителя	стаж работы водителя, лет	$x_8$	3	14	3
	возраст водителя, лет	$x_9$	28	48	28
	время в пути, ч	$x_{10}$	6	3	15
Параметры лесовоза	колесная формула автолесовоза (0—6×6, 1—6×4)	$x_{11}$	0	0	1
	грузоподъемность автолесовоза, т	$x_{12}$	49	56	20
	тип кузова (1 — тягач; 2 — прицеп; 3 — полуприцеп)	$x_{13}$	2	3	1
	время эксплуатации автолесовоза, лет	$x_{14}$	3,5	2,17	2,83
	мощность двигателя автолесовоза, л. с.	$x_{15}$	350	420	300
	пробег автолесовоза, тыс. км	$x_{16}$	65	42	40
	время, пройденное с капремонта лесовоза, мес.	$x_{17}$	8	9	9
	нагруженность (масса груза / грузоподъемность)	$x_{18}$	0,93	0,94	0,9
	тип шин (0 — 425/85r21; 1 — 14.00/r20 xml)	$x_{19}$	1	0	0
Характеристика дорожного покрытия	тип покрытия (0 — без; 1 — гравийное; 2 — асфальт)	$x_{20}$	1	1	1
	ширина дороги, м	$x_{21}$	7	6	8
	время эксплуатации с момента строительства, лет	$x_{22}$	3,8	1	37,4
	количество капитальных ремонтов дороги с момента ее строительства	$x_{23}$	0	0	3
Состояние покрытия	влажность покрытия дороги (0 — сухое; 1 — влажное; 2 — сырое; 3 — мокрое; 4 — насыщенное водой)	$x_{24}$	0	1	0
	вид снежно-ледяного покрытия (0 — без снега; 1 — уплотненный снег; 2 — снежное сухое; 3 — мокрый снег; 4 — снежно-ледяное)	$x_{25}$	0	0	2
Климатические данные	температура воздуха, °С	$x_{26}$	23	10,6	-1,8
	атмосферное давление, мм рт. ст.	$x_{27}$	373	749	756
	относительная влажность воздуха на высоте 2 м, %	$x_{28}$	44	94	91
	скорость ветра, м/с	$x_{29}$	1	1	2
	горизонтальная дальность видимости, км	$x_{30}$	50	9	30
	температура точки росы, °С	$x_{31}$	10,8	9,6	3,1
	количество осадков, выпавших за 12 ч, мм	$x_{32}$	0	0	0
	высота снежного покрова (вне дороги), мм	$x_{33}$	0	0	58
	уклон дороги, ‰	$x_{34}$	-40	-40	0
скорость движения, км/ч	$x_{35}$	30,5	37,0	44,0	

## Материалы и методы

Нами исследована замена значений факторов на их ранги, идентификация закономерностей и дана оценка добротности измерений по коэффициенту корреляции. Объект исследования — система из 35 факторов, в том числе и скорость лесовоза, характеризующая процесс вывозки древесины.

В ходе исследования все 35 факторов были эвристическим способом учтены при вывозке древесины с верхних складов лесной территории на береговые нижние склады во время лесозаготовительного сезона 2019–2020 гг. по территории Мотыгинского и Енисейского лесничеств Красноярского края.

Выполнено 162 наблюдения, заключающихся в регистрации всех учтенных факторов в различных природно-производственных условиях. При этом кодовые значения некоторых факторов ранжировались.

Измерения проводились в следующих условиях: элементарный участок дороги для одного измерения принимался без поворотов длиной более 300 м с учетом достижения равномерной скорости движения лесовоза с грузом или без него на элементарном участке дороги.

Авторским коллективом была разработана многофакторная модель [17, 18], описывающая зависимость влияния природно-производственных факторов на скорость движения лесовоза. Однако при этом не была учтена значимость каждого измерения из всех проведенных 162 экспериментов по всем 35 факторам.

Таким образом, при оценке добротности вначале предполагались все 35 факторов независимыми один от другого и равнозначными по их вкладу в систему. Однако каждый фактор отличался от других количеством значений (от двух и больше), превращением качественных значений кодовых факторов (например, колесная формула лесовоза, содержащая всего два значения 0 или 1 по рангам), а также различной погрешностью измерений. Все это сказывается на коэффициенте корреляции выявленной закономерности. Чем выше коэффициент корреляции, тем выше добротность проведенных измерений.

## Результаты и обсуждение

Рейтинг 162 экспериментов был проведен по сумме рангов всех 35 факторов. Для этого применили метод упорядочения факторов по росту или спаду их значений. Применим следующий способ упорядочения значений параметров по вектору предпорядка предпочтительности «лучше→хуже» по рангам  $R = 0, 1, 2, \dots$ . При анализе каждого фактора по данному принципу существует всего два варианта принятия решений:

1) чем меньше значение фактора, тем лучше (например, чем меньше пробег лесовоза, тем лучше);

2) чем больше значение фактора, тем лучше (например, чем больше ширина дороги, тем лучше);

Каждый из факторов был упорядочен по одному из этих принципов. При этом 25 факторов (71,43 %) были упорядочены по первому варианту, а 10 факторов (26,57 %) — по второму. В программной среде РАНГ в конце ранжируемого столбца поставим следующие коды: 0 — чем больше значение фактора, тем лучше; 1 — чем меньше значение фактора, тем лучше. Тогда все 35 факторов получают одинаковый вектор «лучше → хуже».

При одинаковой содержательной направленности всех учтенных факторов появляется возможность их последовательного суммирования. Затем выполняется суммирование рангов у всего списка параметров системы. По сумме рангов снова выявляется рейтинг с местами от 1 до 162, причем лучшим будет элемент в виде эксперимента с наименьшей суммой рангов.

Разнонаправленные по содержательному смыслу размерностей факторы также нельзя объединять. При этом ранги применяются также для устранения проблемы с размерностью факторов. Тогда появляется возможность количественного описания всей системы параметров.

Обозначение факторов, распределение их по содержательным группам, а также значения (для части параметров) представлены в табл. 1.

В табл. 2 приведены ранги 162 экспериментов.

В ходе исследования был составлен рейтинг экспериментов по многофакторному анализу вывозки древесины, проведена оценка закономерностей ранговых распределений факторов вывозки древесины.

Т а б л и ц а 2

Фрагмент таблицы рангов  
Fragment of the rank table

Номер эксперимента	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	...	$x_{35}$
1	60	31	103	49	...	89
2	86	64	11	71	...	62
3	86	64	2	22	...	149
4	86	151	8	0	...	8
5	86	87	152	10	...	46
...	...	...	...	...	...	...
158	17	143	90	8	...	99
159	17	143	100	71	...	102
160	17	151	5	49	...	74
161	17	151	14	49	...	66
162	17	151	25	36	...	37

В исследовании также использовали моделирование методом идентификации [19]. Для возможности его применения осуществлялось разделение рангов ( $R = 0, 1, 2, 3, \dots$ ) и места оцениваемого фактора в рейтинге ( $I = 1, 2, 3$ ). Для этого в «ранг» была введена позиция 0, что позволило использовать положительную полуось абсцисс при выполнении моделирования.

Выполнение расчетов и моделирование осуществлялось в программной среде CurveExpert-1.40 и программном комплексе Microsoft Office Excel.

С использованием программной среды CurveExpert-1.40 проведена оценка закономерностей ранговых распределений факторов вывозки древесины с лесной территории [20]. В результате получены модели суммарного и частного влияния факторов от самих себя (монарное соотношение). Полученная зависимость для суммарного влияния факторов имеет вид:

$$x_{\text{sum}} = 4,19715 \cdot 10^{-6} \exp(0,55112R_{\text{sum}}^{0,68710}) + 1352,62008R_{\text{sum}}^{0,067645} \exp(4,2113 \cdot 10^{-3} R_{\text{sum}}^{0,89477}).$$

Аналогичные результаты получены для каждого из исследуемых факторов представлены в табл. 3.

Полученные зависимости можно выразить в графическом виде. На рис. 1 представлены примеры графических моделей суммарного ранга ( $a$ ) и первых трех факторов  $x_1$  ( $b$ ),  $x_2$  ( $в$ ),  $x_3$  ( $г$ ).

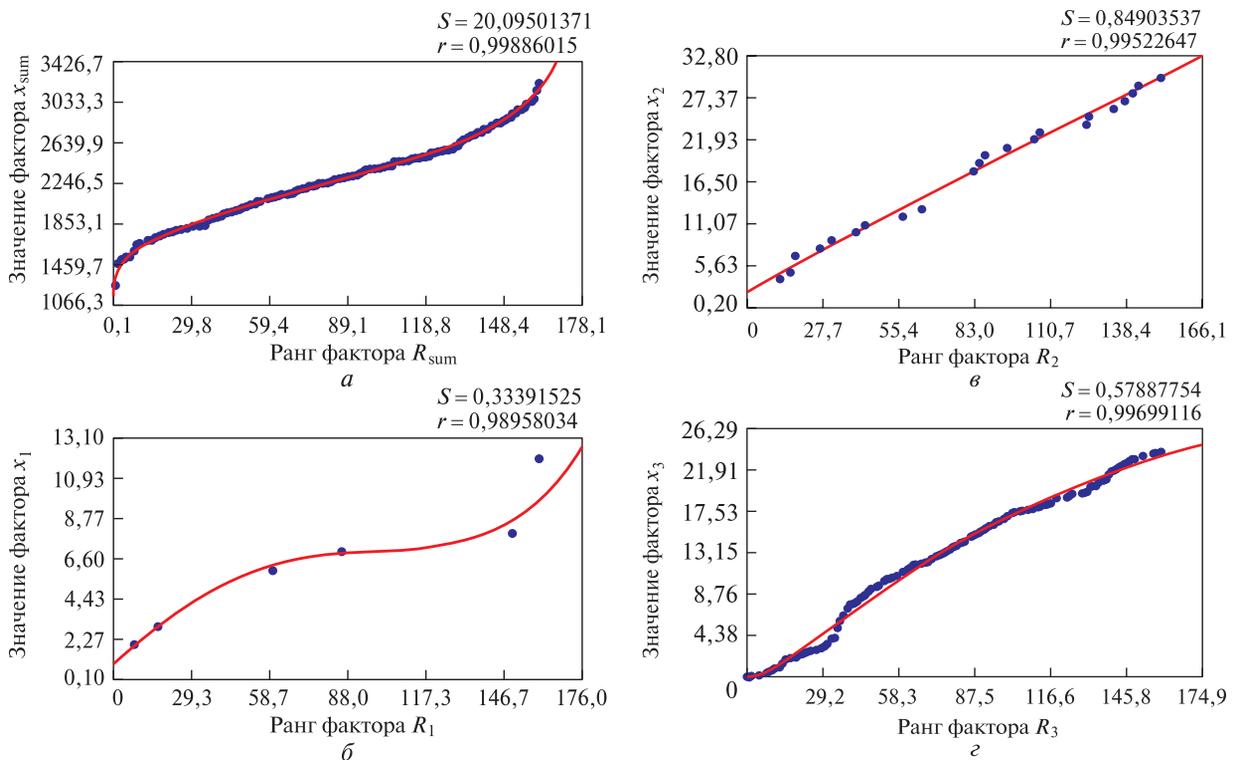
Т а б л и ц а 3

**Зависимости для суммарного влияния факторов**  
Dependencies for the total influence of factors

Обозначение фактора (код)	Расчет
$x_1$	$x_1 = 0,94002 \exp(4,11345 \cdot 10^{-4} R_1^{1,68129}) + 0,12980 R_1^{0,97334} \exp(-2,34692 \cdot 10^{-4} R_1^{1,79574})$
$x_2$	$x_2 = 2,21908 \exp(-0,0030641 R_2) + 0,37494 R_2^{0,87352}$
$x_3$	$x_3 = 7,83730 \cdot 10^6 R_3^{4,76644} \exp(-20,77350 R_3^{0,11324})$
$x_4$	$x_4 = 0,93068 \exp(0,0023934 R_4^{0,73608}) + 8,45859 \cdot 10^{-23} R_4^{10,09648}$
$x_5$	$x_5 = 1,13014 \cdot 10^{-8} \exp(1,34163 R_5^{0,059295}) + 6,7154 R_5^{6,49238} \exp(-11,51943 R_5^{0,23196})$
$x_6$	$x_6 = 0,0012426 R_6^{1,17713} + 1,59705 \cdot 10^7 R_6^{6,91031} \exp(-124,68006 R_6^{0,21410})$
$x_7$	$x_7 = 70,97239 \exp(-0,024729 R_7) + 8,7524 R_7^{0,53226} \exp(0,12047 R_7^{0,48630})$
$x_8$	$x_8 = 30,69782 \exp(-0,013509 R_8^{1,01485})$

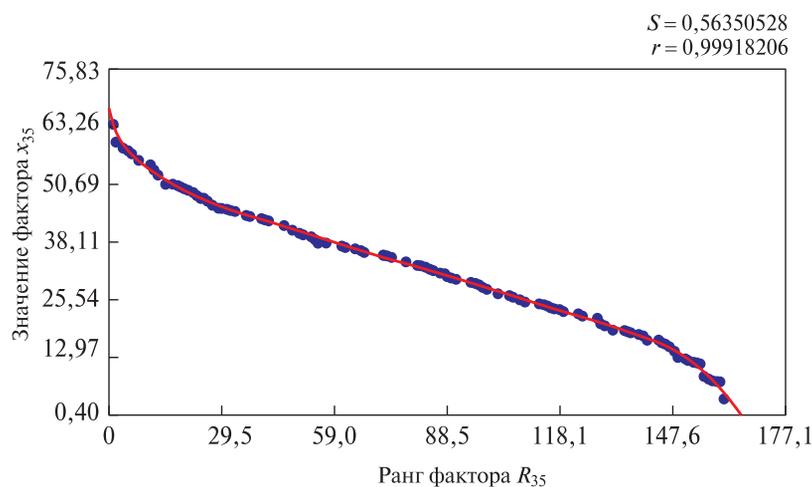
Окончание табл. 3

Обозначение фактора (код)	Расчет
$x_9$	$x_9 = 24,92205 \exp(-5,28659 \cdot 10^{-4} R_9) + 0,15646 R_9^{1,07946} \exp(-3,66707 \cdot 10^{-5} R_9)$
$x_{10}$	$x_{10} = 0,21869 \exp(0,031089 R_{10})$
$x_{11}$	$x_{11} = -5,55112 \cdot 10^{-17} + 0,011905 R_{11}$
$x_{12}$	$x_{12} = 55,99992 \exp(0,011345 R_{12}) - 0,050212 R_{12}^{1,72602}$
$x_{13}$	$x_{13} = 3 - 1,23030 \cdot 10^{-5} R_{13}^{2,47695}$
$x_{14}$	$x_{14} = 2,08845 \exp(1,20974 \cdot 10^{-3} R_{14}^{1,24461}) + 4,90578 \cdot 10^{-32} R_{14}^{14,39309}$
$x_{15}$	$x_{15} = 420 - 6,00374 \cdot 10^{-3} R_{15}^{2,23499}$
$x_{16}$	$x_{16} = 12,13581 \exp(0,039072 R_{16}) - 8,33921 \cdot 10^{-3} R_{16}^{2,00631} \exp(5,38182 \cdot 10^{-3} R_{16}^{1,26534})$
$x_{17}$	$x_{17} = 6,86452 + 1,03984 R_{17}^{0,22949}$
$x_{18}$	$x_{18} = 0,54291 R_{18}^{0,11472}$
$x_{19}$	$x_{19} = -1,11022 \cdot 10^{-16} + 0,010417 R_{19}$
$x_{20}$	$x_{20} = 2 - 0,47201 R_{20}^{0,30213}$
$x_{21}$	$x_{21} = 7,98453 + 0,038345 R_{21}^{0,89299}$
$x_{22}$	$x_{22} = 0,1 + 4,01109 \cdot 10^{-9} R_{22}^{5,10353} \exp(-8,53002 \cdot 10^{-4} R_{22}^{1,60353})$
$x_{23}$	$x_{23} = 9,99959 \cdot 10^{-8} R_{23}^{4,18419} \exp(-0,025081 R_{23})$
$x_{24}$	$x_{24} = 1,14531 \cdot 10^{-10} R_{24}^{6,04589} \exp(-0,039974 R_{24})$
$x_{25}$	$x_{25} = 7,99385 \cdot 10^{-7} R_{25}^{3,04242}$
$x_{26}$	$x_{26} = 25,79279 \exp(-0,01650 R_{26}^{0,89270}) - 1,21572 \cdot 10^{-8} R_{26}^{4,23945}$
$x_{27}$	$x_{27} = 736,86921 \exp(7,39054 \cdot 10^{-6} R_{27}^{1,67783})$
$x_{28}$	$x_{28} = 31,75546 \exp(-3,73682 \cdot 10^{-3} R_{28}^{1,66973}) + 3,13292 R_{28}^{1,47625} \exp(-0,61431 R_{28}^{0,37295})$
$x_{29}$	$x_{29} = 0,093778 R_{29}^{1,13273} - 0,018981 R_{29}^{1,55577} \exp(-4,92992 \cdot 10^{-3} R_{29})$
$x_{30}$	$x_{30} = 50,14946 - 0,065039 R_{30}^{1,32276}$
$x_{31}$	$x_{31} = 18,36561 \exp(-0,10773 R_{31}^{0,28124}) - 8,35519 \cdot 10^{-6} R_{31}^{3,15832} \exp(-0,015637 R_{31}^{0,77349})$
$x_{32}$	$x_{32} = 4,12529 \cdot 10^{-10} R_{32}^{4,61341}$
$x_{33}$	$x_{33} = 2,11647 R_{33}^{0,70765}$
$x_{34}$	$x_{34} = -122,57566 \exp(0,029719 R_{34}^{0,88284}) + 23,67661 R_{34}^{0,58306} \exp(1,17325 \cdot 10^{-3} R_{34}^{1,39039})$
$x_{35}$	$x_{35} = 67,2233 \exp(0,027631 R_{35}^{1,00885}) - 5,10608 R_{35}^{0,78324} \exp(6,88767 \cdot 10^{-3} R_{35}^{1,21162})$



**Рис. 1.** Графические зависимости моделей: *a* — по сумме рангов исследуемых факторов; *б* — первого фактора ( $x_1$ ); *в* — второго фактора ( $x_2$ ); *з* — третьего фактора ( $x_3$ );  $S$  — стандартное отклонение;  $r$  — коэффициент корреляции

**Fig. 1.** Graphical dependencies of models: *a* — by the sum of the ranks of the studied factors; *б* — by the first factor ( $x_1$ ); *в* — by the second factor ( $x_2$ ); *з* — by the third factor ( $x_3$ );  $S$  — standard deviation;  $r$  — correlation coefficient



**Рис. 2.** График рангового распределения скорости движения лесовоза

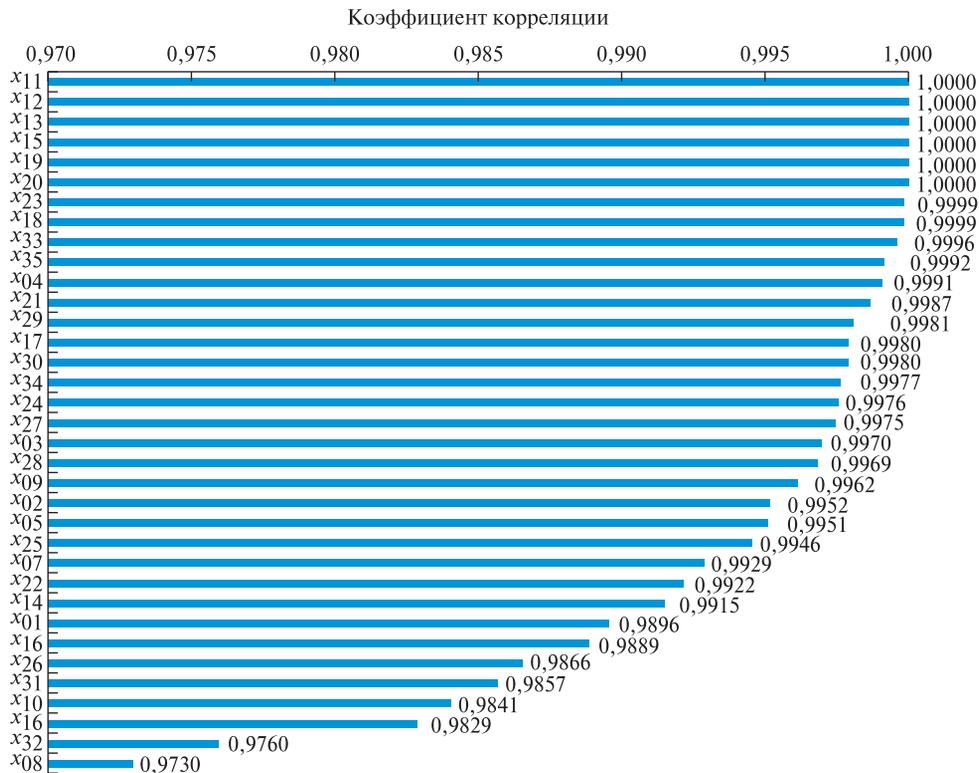
**Fig. 2.** Graph of the rank distribution of the speed of movement of the timber carrier

В данном случае (и далее) под  $R_i$  понимается ранг, принятый по методике ранжирования для  $x_i$  в каждом из экспериментов.

При этом повторы значений фактора на графиках размещаются в одной точке.

Отдельно можно рассмотреть графическую зависимость рангового распределения значений скорости движения автолесовоза по предыдущему уравнению, представленную на рис. 2.

При этом ранжирование значений скорости движения происходит по вектору предпочтительности «лучше → хуже». Тогда получается, что чем больше скорость движения лесовоза, тем лучше для всей системы вывозки лесоматериалов. Значение высокой корреляции модели рангового распределения, составившее  $r = 0,99918$  (см. рис. 2), указывает на добротность полученных значений, что говорит о качествен-



**Рис. 3.** Рейтинг добротности измерений факторов по убыванию коэффициента корреляции  
**Fig. 3.** Rating of  $Q$ -factor measurements in descending order of correlation coefficient

ной исходной информации по экспериментам и о продуманности методики их проведения.

В ходе исследования получены значения коэффициентов корреляции для всех исследуемых факторов. На основе полученных данных выполнено ранжирование значений исследуемых факторов по убыванию коэффициента корреляции. Полученные данные свидетельствуют о добротности анализируемых факторов. Данный факт обусловлен высокими значениями коэффициентов корреляции у всех факторов ( $r > 0,973$ ).

Рейтинг добротности по убыванию коэффициента корреляции представлен на рис. 3.

## Выводы

Установлено, что все отобранные и анализируемые факторы отличаются признаками высокой добротности, что обусловлено большими значениями коэффициентов корреляции выявленных закономерностей ранговых распределений.

## Список литературы

- [1] Pozdnyakova M., Ryabova T., Mokhirev A. Comprehensive evaluation of technological measures for increasing availability of wood resources // J. of Applied Engineering Science, 2018, no. 16 (4), pp. 565–569. DOI: 10.5937/jaes16-18842
- [2] Henningsson M., Karlsson J., Rönnqvist M. Optimization models for forest road upgrade planning // J. of Mathematical Models and Algorithms, 2007, № 6 (1), pp. 3–23.
- [3] Sun X., He Y., Wang S., Wang Y. Characteristics of operating speed for proper speed limit // ICCTP 2010: Integrated Transportation Systems: Green, Intelligent, Reliable – Proceedings of the 10th International Conference of Chinese Transportation Professionals. Beijing, 2010, pp. 678–1689.
- [4] Мельник М.А., Волкова Е.С. Сезонная дифференциация опасных и неблагоприятных природных явлений для сферы лесопользования Томской области // Вестник СГУГиТ, 2019. Т. 24. № 2. С. 229–237. DOI: 10.33764/2411-1759-2019-24-2-229-237
- [5] Мохирев А.П., Рукомойников К.П., Герасимова М.М., Медведев С.О., Царев Е.М., Анисимов С.Е. Анализ влияния природно-климатических факторов на скорость движения автолесовозов // Успехи современного естествознания, 2020. № 10. С. 108–115. DOI: 10.17513/use.37498
- [6] Козлов В.Г. Методы, модели и алгоритмы проектирования лесовозных автомобильных дорог с учетом влияния климата и погоды на условия движения: дис. ... д-ра техн. наук: специальность 05.21.01.–Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства, Архангельск, 2017. 406 с.
- [7] Бельский А.Е. Построение эпюр скоростей движения расчетных автомобилей при проектировании автомобильных дорог. Фрунзе: Изд-во ГНТК Киргизской ССР, 1960. 44 с.
- [8] Хавкин К.А. Исследование влияния вертикальных кривых на скорость движения автомобиля в связи с проектированием элементов продольного профиля автомобильных дорог: Труды Киевского автомобильно-дорожного института. Сб. № 3. Киев: Гостехиздат, 1957. 16 с.

- [9] Скрыпник В.И., Кузнецов А.В., Баклагин В.Н. Анализ и расчет параметров движения лесовозных автопоездов: Труды лесоинженерного факультета ПетрГУ, № 8, 2010. С. 140–143.
- [10] Скрыпников А.В., Кондрашова Е.В., Скворцова Т.В., Дорохин С.В. Влияние условий движения на скоростные режимы транспортных потоков при вывозке древесины // Современные наукоемкие технологии, 2014. № 4. С. 153.
- [11] Шегельман И.Р., Скрыпник В.И., Пладов А.В. Моделирование движения лесовозных автопоездов на ПВЭМ. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2003. 234 с.
- [12] Коваленко Т.В., Коточигов М.В. Использование климатической информации для организации транспортного освоения лесных массивов // Технология и оборудование лесопромышленного комплекса: Сб. науч. тр. Вып. 6. СПб: Изд-во СПбГЛТУ, 2013. С. 104–108.
- [13] Сивков Е.Н., Скрыпников А.В., Чернышова Е.В. Условия движения по лесовозным дорогам // Изучение лесосырьевой базы Республики Коми: научно-методический аспект: Сб. материалов науч.-практ. конф. по научной теме института «Разработка научных основ и практических рекомендаций по переводу лесосырьевой базы Республики Коми на инновационную интенсивную модель расширенного воспроизводства на 2015–2020 годы» / под ред. Е.В. Хохловой. Сыктывкар, 29–30 ноября 2016 г. Сыктывкар: Изд-во Сыктывкарского лесного института, 2017. С. 19–23.
- [14] Скрыпников А.В., Козлов В.Г., Чернышова Е.В., Микова Е.Ю., Являнская И.В., Могутнов Р.В. Оценка влияния отдельных метеорологических факторов на обеспеченность расчетной скорости // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований, 2018. № 5–2. С. 294–300.
- [15] Kozlov V.G., Skrypnikov A.V., Samcov V.V., Levushkin D.M., Nikitin A.A., Zaikin A.N. Mathematical models to determine the influence of road parameters and conditions on vehicular speed // J. of Physics: Conference Series. The proceedings International Conference «Information Technologies in Business and Industry» / Information Technologies in Business and Industry, 18–20 February 2019. Novosibirsk: IOP Publishing Ltd, 2019, p. 032041.
- [16] Zverev G.I., Menshikh V.V. Optimizing the selection of combination of alternative functions of ergatic system multifunctional elements // J. of Physics: Conference Series, 2020, p. 012062.
- [17] Мохирев А.П., Рукомойников К.П., Мазуркин П.М. Многофакторное влияние природно-производственных условий на скорость движения автолесовозов // Системы. Методы. Технологии, 2020. № 4 (48). С. 88–96. DOI: 10.18324/2077-5415-2020-4-88-96.
- [18] Мохирев А.П., Рукомойников К.П., Мазуркин П.М. Анализ факторов, влияющих на скорость автолесовозов // Успехи современного естествознания, 2020. № 11. С. 20–25.
- [19] Mazurkin P.M. Method of identification // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management (SGEM), 2014, book 6, v. 1, pp. 427–434. DOI: 10.5593/SGEM2014/B61/S25.059
- [20] Mazurkin P.M., Kudrjashova A.I. Factor analysis of annual global carbon dynamics (according to Global\_Carbon\_Budget\_2017v1.3.xlsx) // Materials of the International Conference «Research transfer» – Reports in English (Part 2). Beijing: PRC, 2018, pp. 192–224.

## Сведения об авторах

**Мохирев Александр Петрович** — канд. техн. наук, доцент кафедры автомобильных дорог и городских сооружений инженерно-строительного института ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», ale-mokhirev@yandex.ru

**Рукомойников Константин Павлович** — д-р техн. наук, профессор кафедры лесопромышленных и химических технологий института леса и природопользования ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», rukomojnikovkp@volgategh.net

**Мазуркин Петр Матвеевич** — д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой природообустройства Института строительства и архитектуры ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», kaf\_po@mail.ru

Поступила в редакцию 18.01.2021.

Принята к публикации 25.03.2021.

## RANK DISTRIBUTION OF WOOD REMOVAL FROM FOREST LAND

A.P. Mokhirev<sup>1</sup>, K.P. Rukomojnikov<sup>2</sup>, P.M. Mazurkin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Siberian Federal University, 82, Svobodny pr., Krasnoyarsk 660041, Russia

<sup>2</sup>Volga State University of Technology, 3, Lenin sq., 424000, Yoshkar-Ola, Republic Of Mari El, Russia

ale-mokhirev@yandex.ru

The article is devoted to the problem of modeling the speed of movement of timber trucks in various natural conditions of the Krasnoyarsk Territory. The results were obtained on the basis of multiple observations of the speed of timber trucks on various sections of forest roads. The results presented in the article are based on the selection and analysis of factors that can presumably have any effect on the speed of movement of timber trucks when hauling timber. The article presents the results of creating a multifactorial dependence for calculating the speed of timber transport. The analysis of the quality factor of each of the factors is carried out by the rank distribution of the obtained regularities and by compiling a rating of the conducted field experiments on the multivariate analysis of timber removal. The calculations and modeling were carried out in the CurveExpert-1.40 software environment and the Microsoft Office Excel software package in the RANK environment. Using the CurveExpert-1.40 software environment, the adequacy of the regularities of the rank distributions of the factors of timber removal from the forest area was assessed by the correlation coefficient. As a result, we obtained models of the total and private influence of factors from themselves (monar ratio) by ranks, which were placed before modeling for each factor in the direction of changing the level of their preference for factors from worse to better. When analyzing the quality factor of experiments, all analyzed factors received a correlation coefficient above 0,97, which corresponds to the level of adequacy of the «strongest factor relationship». This made it possible to add up the ranks of all 35 factors and, by the sum of the ranks, reveal the rating in the system of factors. The paper presents the mathematical dependences of rank distributions and graphs constructed from them. As a result of modeling, regression dependences were obtained and the quality factor of the values of the factors used by the authors in the course of production experiments was proved.

**Keywords:** natural and production factors, ranking, regularities, quality factor

**Suggested citation:** Mokhirev A.P., Rukomojnikov K.P., Mazurkin P.M. *Zakonovernosti rangovykh raspredeleniy faktorov vyvozki drevesiny s lesnykh uchastkov* [Rank distribution of wood removal from forest land]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 4, pp. 112–120. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-4-112-120

### References

- [1] Pozdnyakova M., Ryabova T., Mokhirev A. Comprehensive evaluation of technological measures for increasing availability of wood resources. *J. of Applied Engineering Science*, 2018, no. 16 (4), pp. 565–569. DOI: 10.5937/jaes16-18842
- [2] Henningsson M., Karlsson J., Rönnqvist M. Optimization models for forest road upgrade planning. *J. of Mathematical Models and Algorithms*, 2007, № 6 (1), pp. 3–23.
- [3] Sun X., He Y., Wang S., Wang Y. Characteristics of operating speed for proper speed limit. *ICCTP 2010: Integrated Transportation Systems: Green, Intelligent, Reliable – Proceedings of the 10th International Conference of Chinese Transportation Professionals*. Beijing, 2010, pp. 678–1689.
- [4] Mel'nik M.A., Volkova E.S. *Sezonnaya differentsiatsiya opasnykh i neblagopriyatnykh prirodnykh yavleniy dlya sfery lesopol'zovaniya Tomskoy oblasti* [Seasonal differentiation of dangerous and unfavorable natural phenomena for the forest management of the Tomsk region]. *Vestnik SGUGiT [Bulletin of SGUGiT]*, 2019, v. 24, no. 2, pp. 229–237. DOI: 10.33764 / 2411-1759-2019-24-2-229-237
- [5] Mokhirev A.P., Rukomojnikov K.P., Gerasimova M.M., Medvedev S.O., Tsarev E.M., Anisimov S.E. *Analiz vliyaniya prirodno-klimaticheskikh faktorov na skorost' dvizheniya avtolesovozov* [Analysis of the influence of natural and climatic factors on the speed of timber trucks]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya [Success of modern natural science]*, 2020, no. 10, pp. 108–115. DOI: 10.17513 / use.37498
- [6] Kozlov V.G. *Metody, modeli i algoritmy proektirovaniya lesovoznykh avtomobil'nykh dorog s uchetom vliyaniya klimata i pogody na usloviya dvizheniya* [Methods, models and algorithms for the design of logging highways taking into account the influence of climate and weather on traffic conditions]. *Dis. Dr. Sci. (Tech.) 05.21.01. Arkhangel'sk*, 2017, 406 p.
- [7] Bel'skiy A.E. *Postroenie epyur skorostey dvizheniya raschetnykh avtomobiley pri proektirovanii avtomobil'nykh dorog* [Construction of speed diagrams for design vehicles in the design of highways]. *Frunze: State Scientific and Technical Committee of the Kirghiz SSR*, 1960, 44 p.
- [8] Khavkin K.A. *Issledovanie vliyaniya vertikal'nykh krivykh na skorost' dvizheniya avtomobilya v svyazi s proektirovaniem elementov prodol'nogo profilya avtomobil'nykh dorog* [Investigation of the influence of vertical curves on the vehicle speed in connection with the design of the elements of the longitudinal profile of highways]. *Trudy Kievskogo avtomobil'no-dorozhnogo instituta [Proceedings of the Kiev Automobile and Road Institute]*. Sat. no. 3. Kiev: Gostekhizdat, 1957, 16 p.
- [9] Skrypnik V.I., Kuznetsov A.V., Baklagin V.N. *Analiz i raschet parametrov dvizheniya lesovoznykh avtopoezdov* [Analysis and calculation of the parameters of the movement of timber road trains]. *Trudy lesoinzhenernogo fakul'teta PetrGU [Proceedings of the forest engineering faculty of PetrSU]*, 2010, no. 8, pp. 140–143.
- [10] Skrypnikov A.V., Kondrashova E.V., Skvortsova T.V., Dorokhin S.V. *Vliyaniye usloviy dvizheniya na skorostnyye rezhimy transportnykh potokov pri vyvozke drevesiny* [Influence of traffic conditions on high-speed modes of traffic flows during wood transportation]. *Sovremennyye naukoemkie tekhnologii [Modern high technologies]*, 2014, no. 4, p. 153.
- [11] Shegel'man I.R., Skrypnik V.I., Pladov A.V. *Modelirovaniye dvizheniya lesovoznykh avtopoezdov na PVEM* [Simulation of the movement of timber trucks on PVEM]. *Petrozavodsk: PetrSU*, 2003, 234 p.

- [12] Kovalenko T.V., Kotochigov M.V. *Ispol'zovanie klimaticheskoy informatsii dlya organizatsii transportnogo osvoeniya lesnykh massivov* [The use of climatic information for the organization of transport development of forest areas]. *Tekhnologiya i oborudovanie lesopromyshlennogo kompleksa* [Technology and equipment of the timber industry complex]. Coll. scientific. tr. Iss. 6. St. Petersburg: SPbGLTU, 2013, pp. 104–108.
- [13] Sivkov E.N., Skrypnikov A.V., Chernyshova E.V. *Usloviya dvizheniya po lesovoznym dorogam* [Traffic conditions on timber roads]. *Izuchenie lesosyr'evoy bazy Respubliki Komi: nauchno-metodicheskiy aspekt: Sb. materialov nauchno-prakticheskoy konferentsii po nauchnoy teme instituta «Razrabotka nauchnykh osnov i prakticheskikh rekomendatsiy po perevodu lesosyr'evoy bazy Respubliki Komi na innovatsionnyuyu intensivnyuyu model' rasshirennoogo vosproizvodstva na 2015–2020 gody»* [Study of the timber resource base of the Komi Republic: scientific and methodological aspect: Sat. materials of the scientific-practical conference on the scientific theme of the Institute «Development of scientific foundations and practical recommendations for the transfer of the forest resource base of the Komi Republic to an innovative intensive model of expanded reproduction for 2015–2020»]. Ed. E.V. Khokhlova. Syktyvkar, November 29–30, 2016. Syktyvkar: Syktyvkar Forestry Institute, 2017, pp. 19–23.
- [14] Skrypnikov A.V., Kozlov V.G., Chernyshova E.V., Mikova E.Yu., Yavlyanskaya I.V., Mogutnov R.V. *Otsenka vliyaniya otdel'nykh meteorologicheskikh faktorov na obespechennost' raschetnoy skorosti* [Assessment of the influence of certain meteorological factors on the provision of the design speed]. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy* [International J. of Applied and Fundamental Research], 2018, no. 5–2, pp. 294–300.
- [15] Kozlov V.G., Skrypnikov A.V., Samcov V.V., Levushkin D.M., Nikitin A.A., Zaikin A.N. *Mathematical models to determine the influence of road parameters and conditions on vehicular speed*. J. of Physics: Conference Series. The proceedings International Conference «Information Technologies in Business and Industry». Information Technologies in Business and Industry, 18–20 February 2019. Novosibirsk: IOP Publishing Ltd, 2019, p. 032041.
- [16] Zverev G.I., Menshikh V.V. *Optimizing the selection of combination of alternative functions of ergatic system multifunctional elements*. J. of Physics: Conference Series, 2020, p. 012062.
- [17] Mokhirev A.P., Rukomojnikov K.P., Mazurkin P.M. *Mnogofaktornoe vliyanie prirodno-proizvodstvennykh usloviy na skorost' dvizheniya avtolesovozov* [The multifactorial influence of natural production conditions on the speed of movement of timber trucks]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii* [Systems. Methods. Technologies], 2020, no. 4 (48), pp. 88–96. DOI: 10.18324 / 2077-5415-2020-4-88-96.
- [18] Mokhirev A.P., Rukomojnikov K.P., Mazurkin P.M. *Analiz faktorov, vliyayushchikh na skorost' avtolesovozov* [Analysis of factors affecting the speed of timber trucks]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Success of modern natural science], 2020, no. 11, pp. 20–25.
- [19] Mazurkin P.M. *Method of identification*. International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management (SGEM), 2014, book 6, v. 1, pp. 427–434. DOI: 10.5593/SGEM2014/B61/S25.059
- [20] Mazurkin P.M., Kudrjashova A.I. *Factor analysis of annual global carbon dynamics (according to Global\_Carbon\_Budget\_2017v1.3.xlsx)*. Materials of the International Conference «Research transfer» – Reports in English (Part 2). Beijing: PRC, 2018, pp. 192–224.

## Authors' information

**Mokhirev Aleksandr Petrovich** — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Department of Highways and Urban Structures of the Siberian Federal University, ale-mokhirev@yandex.ru

**Rukomojnikov Konstantin Pavlovich** — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the Department of Forestry and chemical technologies of the Institute of forest and nature management, Volga State University of Technology, rukomojnikovkp@volgatech.net

**Mazurkin Pyotr Matveyevich** — Dr. Sci. (Tech.), Professor, Head of the Department of Environmental management at the Institute of construction and architecture of the Volga State University of Technology, kaf\_po@mail.ru

Received 18.01.2021.

Accepted for publication 25.03.2021.

## СУПЕРВИЗОРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫМИ МЕХАНИЗМАМИ МАШИН ЛЕСОЗАГОТОВОК И ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА

А.В. Сиротов, А.С. Лапин, А.Ю. Тесовский,  
Ф.А. Карчин, М.С. Усачев

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

sirotov@mgul.ac.ru

Приведены структурные схемы автоматизированной системы управления технологическими процессами и информационными потоками лесопромышленной деятельности. Представлены объекты и метод исследования. Установлено, что в настоящее время в России все большее распространение принимает сортиментная заготовка древесного сырья и, соответственно, специальные лесные машины — харвестеры. Выявлено, что одним из основных преимуществ харвестеров являются автоматизированные функции, которые позволяют системе управления оптимизировать раскрой ствола дерева с учетом цены сортимента и его оптимальных параметров. Установлено, что большинство харвестеров, находящихся в эксплуатации, оборудовано харвестерными головками с механизмом протаскивания непрерывного действия. Показано, что снижение производственных и ресурсных потерь, сохранение природной среды и адекватных мер воспроизводства древесных ресурсов становится возможным за счет перевода управления лесопромышленными процессами на качественно новый уровень за счет применения современных автоматизированных систем управления технологическими процессами и информационными потоками (АСУТП ИП). На основании проведенного анализа была предложена система поддержки принятия решений (СППР), обеспечивающей поддержку операторской деятельности и модель принятия решения о назначении рубки дерева.

**Ключевые слова:** автоматизированные системы управления технологическими процессами и информационными потоками, автоматизация, машины лесозаготовок и лесного хозяйства, система поддержки принятия решений, супервизорное управление

**Ссылка для цитирования:** Сиротов А.В., Лапин А.С., Тесовский А.Ю., Карчин Ф.А., Усачев М.С. Супервизорное управление исполнительными механизмами машин лесозаготовок и лесного хозяйства // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 4. С. 121–128. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-4-121-128

Планирование современных технологических процессов лесосечных работ следует проводить таким образом, чтобы при выполнении каждой рабочей операции и всего их комплекса в нормальном производственном режиме при существующих видах рубок исключалось недопустимое отрицательное воздействие на все элементы биогеоценозов.

Технологические процессы заготовки древесного сырья классифицируют по виду продукта, вывозимого с лесосеки: хлысты, сортименты, деревья, щеп [1].

В соответствии с законом 415-ФЗ в Лесной кодекс Российской Федерации были внесены изменения — новые главы и дополнения, касающиеся создания единой государственной автоматизированной информационной системы (ЕГАИС) учета древесины и сделок с ней, введения новых правил учета, фиксации определения сортиментного объема, маркировки древесины и введения новых требований к транспортировке и учету сделок с ней. Так, согласно закону 415-ФЗ, вводится обязательность учета всей срубленной древесины, наличия документов, подтверждающих законность заготовленной древесины, выполнения всех мероприятий по охране, защите и воспроизводству лесов, обязательность составления сопроводительных документов при транспортировке древесины любым видом транспорта, поштучной

маркировки древесины ценных лесных пород и декларирования сделок в ЕГАИС [2, 3].

“Лесозаготовительные работы выполняются по четырем типам технологических процессов, которым при систематизации были присвоены соответствующие обозначения: ТП1, ТП2, ТП3, ТП4. Каждый технологический процесс направлен на заготовку древесного сырья в определенном виде:

- ТП 1 — заготовка и вывозка деревьев с кроной;
- ТП 2 — заготовка и вывозка хлыстов;
- ТП 3 — заготовка и вывозка сортиментов;
- ТП 4 — заготовка и вывозка технологической щепы” [4].

### Цель работы

Цель работы — разработка концепции супервизорного управления исполнительными механизмами машин лесозаготовок и лесного хозяйства.

### Объекты и методика исследований

“В настоящее время в России все большее распространение принимает сортиментная заготовка древесного сырья и, соответственно, специальные лесные машины — харвестеры” [4].

В настоящее время большинство харвестеров, находящихся в эксплуатации, оборудовано харвестерными головками с механизмом протаскивания непрерывного действия.



Рис. 1. Структурная схема автоматизированной системы управления технологическими процессами и информационными потоками лесопромышленной деятельности [7]

Fig. 1. Block diagram of an automated control system for technological processes and information flows of forestry activities [7]

“В конструкциях харвестеров применяются три типа гидроманипуляторов:

- шарнирно-сочлененные (надежны и способны воспринимать большие нагрузки);
- телескопические (обладают высокой кинематической точностью, компактностью);
- комбинированные (имеют шарнирное соединение телескопической рукояти и стрелы, объединяют в себе достоинства шарнирно-сочлененных и телескопических манипуляторов);
- параллельные (рукоять с помощью гидроцилиндра перемещения и механизма стабилизации движется прямолинейно по отношению к поверхности земли и обеспечивает легкое наведение на дерево; удобны в использовании, производительны)”.

В результате проведенного анализа использования “различных типов гидроманипуляторов на предприятиях лесной промышленности (на основе анализа спроса и предложения на рынке) можно сказать, что наибольшее распространение получили комбинированные и параллельные типы гидроманипуляторов — до 80 %. Шарнирно-сочлененные и телескопические манипуляторы относительно редки — до 20 %” [4].

Одним из основных “преимуществ харвестеров являются автоматизированные функции, которые позволяют системе управления оптимизировать раскрой ствола дерева с учетом цены сортимента и его оптимальных параметров. Автоматические

функции” харвестерной “головки, такие, как” корректная регулировка “давления сучкорезных ножей и возврат харвестерной головки, повышают” эффективность “работы и не отвлекают оператора от процесса выбора места для валки следующего дерева” [5, 6].

“Снижение производственных и ресурсных потерь, сохранение природной среды и адекватных мер воспроизводства древесных ресурсов” становится возможным за счет “перевода управления лесопромышленными процессами на качественно новый уровень за счет применения современных автоматизированных систем управления технологическими процессами и информационными потоками (АСУТП ИП)” [7].

Данный класс систем ориентирован на решение следующих задач:

- по консолидации геоинформационных данных (карт, материалов дистанционного зондирования земли, аэрофотосъемки, лазерно-локационной съемки);
- по формированию информационной модели участка лесного массива, учитывающей точечное расположение деревьев, их таксационных параметров и оценивающей объем сортиментного выхода;
- по формированию вариантов потенциально возможных технологических процессов лесопользования на заданном участке;

– обозначению конкретных деревьев, подлежащих рубке, согласно требованиям, сформированным автоматизированной системой планирования и потребности в материалах — MRP;

– оптимизации путей следования машин лесозаготовок и лесного хозяйства;

– автоматизированной маркировке и учету перемещения лесоматериалов.

Структурную схему автоматизированной системы управления технологическими процессам и информационными потоками лесопромышленной деятельности можно представить в виде (рис. 1) [7].

“Технологический процесс работы харвестера состоит из” следующих операций: “перезды лесозаготовительной машины по лесосеке, спиливание деревьев, обрезка сучьев, раскряжевка хлыстов на сортименты и их пакетирование” [8–11].

Реализация методики и алгоритма оценки доступности деревьев является крайне важным условием для успешного и эффективного функционирования АСУТП ИП лесопромышленной деятельности.

Для решения данной задачи можно применять карты выдела с предоставлением пользователю возможности на основе визуального представления имитируемого древостоя изменить назначения деревьев в рубку, в зависимости от их расположения, либо по другим критериям.

Данная “методика дает возможность проводить оценку доступности деревьев, назначаемых в рубку, за счет сравнения их координат с координатами перемещающейся по насаждению машины. Участок леса, на котором моделируется рубка, задается рядом параметров” [15] на основе данных геоинформационных систем и лазерно-локационной съемки [12–14].

“Положение деревьев первоначально задается в декартовой системе координат” (рис. 2).

“Перемещение” харвестера “по насаждению выражается изменением его координат. Расстояние между рабочими стоянками харвестера назначается в зависимости от максимального вылета манипулятора, почвенно-грунтовых условий и параметров насаждения. При этом” следует “создавать непрерывную зону обработки.

Положение деревьев относительно машины” лесозаготовки “задается в полярной системе координат с центром на оси поворотной колонны” (рис. 3).

“Применение полярной системы координат, кроме решения задачи оценки доступности дерева для захвата и срезания, позволит в процессе моделирования получить данные для расчета производительности машины” лесозаготовки, “так как модуль радиус-вектора  $|R_i|$  равен вылету манипулятора при захвате дерева, а полярный угол — углу между осями волока и манипулятора:

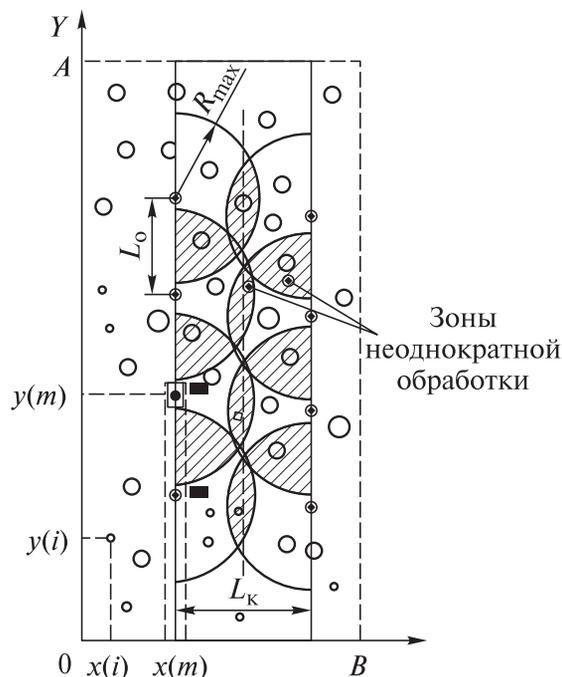


Рис. 2. Схема процесса назначения области работы харвестера [15]

Fig. 2. Diagram of assigning a harvester work area process [15]

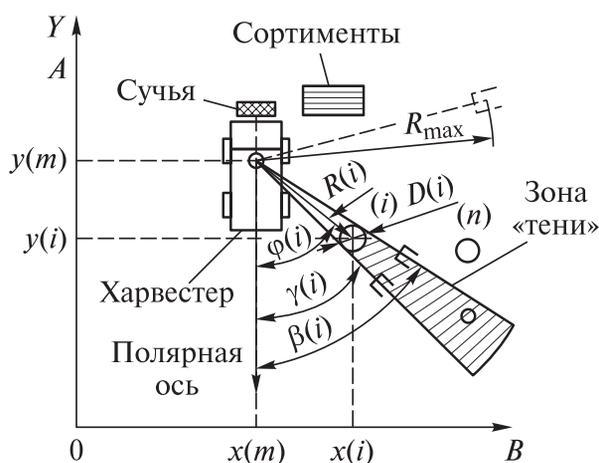


Рис. 3. Схема определения расположения срезаемых деревьев [15]

Fig. 3. Scheme for determining the location of cut trees [15]

$$|R_i| = \sqrt{(y_m - y_i)^2 + (x_i - x_m)^2};$$

$$\phi_i = \cos^{-1} \frac{(y_m - y_i)}{|R_i|},$$

где  $m$  — номер стоянки харвестера;  
 $i$  — номер дерева;  
 $x_m, y_m$  — координаты харвестера;  
 $x_i, y_i$  — координаты дерева;  
 $R_i$  — вылет манипулятора харвестера.

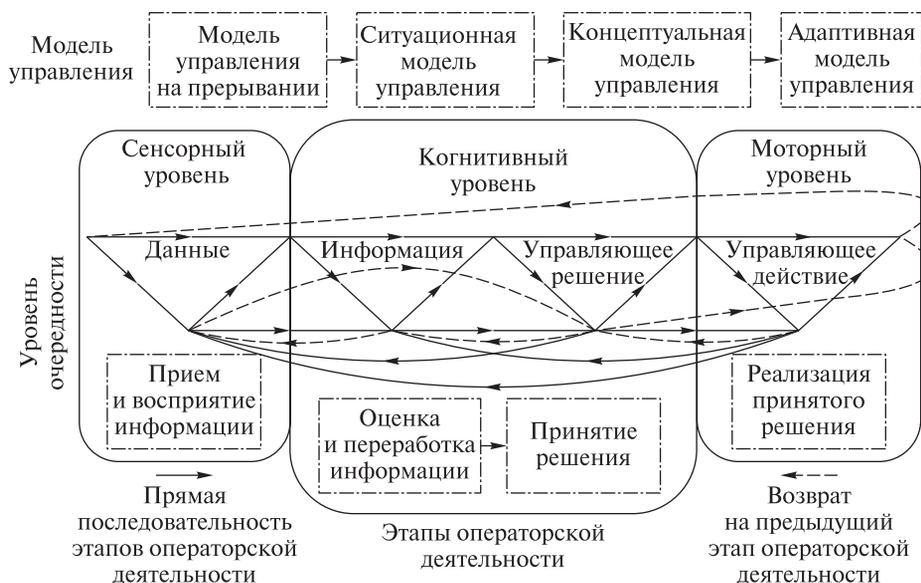


Рис. 4. Системная модель функций оператора [21]

Fig. 4. System model of operator functions [21]

Каждое дерево, которое не подлежит рубке, образует зону «тени». Оказавшиеся в этой зоне «деревья не могут быть захвачены с данной стоянки харвестера». «Границы этой зоны определяются полярными углами  $\beta_i$  и  $\gamma_i$ », значение «которых зависит от диаметра ствола дерева  $D_i$  и его расстояния от машины лесозаготовки:

$$\beta_i = \varphi_i + \sin^{-1} \frac{D_i}{2 \cdot |R_i|};$$

$$\gamma_i = \varphi_i - \sin^{-1} \frac{D_i}{2 \cdot |R_i|}.$$

Таким образом, сформулируем условия доступности  $n$ -го дерева, назначенного в рубку, для захвата и срезания.

Дерево должно находиться в рабочей зоне манипулятора:  $|R_i| \leq R_{\max}$ , где  $R_{\max}$  — максимальный вылет манипулятора машины лесозаготовки.

Приведенное ниже неравенство не выполняется ни разу для всех оставляемых для дальнейшего роста деревьев, модули радиус-векторов которых меньше, чем у него:  $\gamma_i < \varphi_n < \beta_i$  [15].

Таким образом, учитывается «непрямолинейность движения» харвестера и возможность того, что «отдельные деревья можно обработать с двух позиций машин лесозаготовки и более, в том числе, расположенных на соседних волоках» [15].

Автоматизация технологической операции по раскряжке древесины подразумевает не только проведение раскряжки, но и внедрение методики выявления и определения характеристик внутренних пороков древесины (гнили, сучков, трещин) на основе самообучающейся системы распознавания образов, сформированных рент-

генотелевизионным комплексом в процессе сканирования.

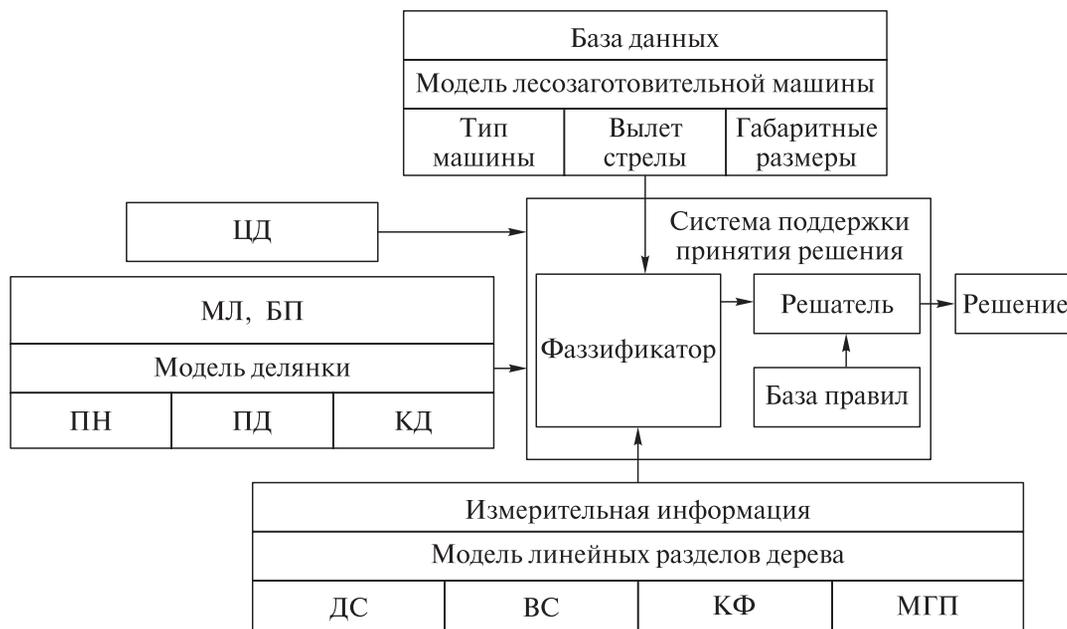
Полученная после дефектоскопии информация сохраняется на специальных метках. В качестве таких меток могут выступать носители информации на основе технологии Radio Frequency Identification (RFID). Так, форвардер, осуществляя сбор сортиментов, может сразу проводить их сортировку на основании информации, считываемой с RFID-метки, установленной харвестером на этапе раскряжки [16–18].

## Результаты и обсуждение

«Недостатком существующей» технологии «и в целом системы управления валочно-сучкорезно-раскряжевой машины является ручное наведение харвестерной головки на дерево, что требует» высокого уровня профессиональной подготовки оператора, концентрации внимания «на движениях и часто приводит к неточности их выполнения», снижению функциональной надежности «оператора, повреждением стволов деревьев и харвестерной головки, снижению производительности» [8].

Влияние индивидуальных особенностей машины и человека в системе различно. В зависимости от стажа работы, квалификации и других факторов, в результате процессов, происходящих в сознании, находят новые решения, которые сложнее поддаются прогнозированию [19, 20].

«Согласно современным представлениям, работу оператора можно представить в виде системной модели» (рис. 4), применяемой «к большинству типичных действий оператора.



**Рис. 5.** Концептуальная модель системы поддержки принятия решений деятельности оператора: ЦД — цель деятельности; МЛ — модель линейных размеров дерева; БП — база правил назначения рубки; МЛМ — модель лесозаготовительной машины; ПН — плотность насаждений; ПД — порода дерева; КД — количество деревьев, обнаруженных в площади обзора измерителя; ДС — диаметр ствола на высоте; ВС — расчетная высота ствола; КФ — коэффициенты формы; МГП — матрица глубины пространства, полученная оптическими средствами измерения [21]

**Fig. 5.** Conceptual model of the operator's decision-making support system: ЦД — the purpose of the activity; МЛ — a model of the linear dimensions of the tree; БП — base of rules for the designation of felling; МЛМ — model of a logging machine; ПН — the density of plantings; ПД — wood species; КД — the number of trees found in the meter's viewing area; ДС — trunk diameter at height; ВС — estimated barrel height; КФ — form coefficients; МГП — matrix of the depth of space, obtained by optical measuring instruments [21]

Циклограмма работы оператора валочно-сучкорезно-раскряжевочной машины (ВСРМ) свидетельствует о том, что наибольшую сложность для оператора представляют дополнительные операции, длительность выполнения которых непосредственно “зависит от квалификации оператора и опыта работы и определяет эффективность работы ВСРМ.

В исследовании зависимости производительности операторов лесозаготовительных машин от их опыта работы, проведенном НИИ леса Финляндии” (Metsäntutkimuslaitos, известное как Metla), “было выявлено, что в среднем операторы харвестеров выходят на 90%-й уровень средней выработки только к девятому месяцу работы, а на 100%-й — только на тринадцатый месяц. Применение компьютерного интеллекта к задачам обеспечения деятельности оператора и систем управления является важнейшим резервом повышения эффективности и безопасности” эргатической системы управления (ЭСУ) [21].

“Таким образом, предложено использование системы поддержки принятия решений (СППР),

обеспечивающей поддержку операторской деятельности.

Модель принятия решения о назначении рубки дерева представлена в виде теоретико-множественной концептуальной модели” (рис. 5) [21].

### Выводы

Современные машины лесозаготовок представляют собой сложные электрогидравлические механизмы. Рабочий цикл таких машин приводит к увеличению скорости перехода между функциональными операциями и режимами работы и нагрузки интеллектуального характера на оператора. В связи с этим при создании новых и модернизации существующих лесозаготовительных машин возникает классическая задача снижения нагрузки на оператора для человеко-машинных систем, а также уменьшения количества принятых решений для типовых задач. Многие операции, выполняемые машинами лесозаготовок, не требуют выборных решений оператора, выполняются по единому алгоритму и требуют высокой точности и внимательности, а значит, могут быть автоматизированы и роботизированы [22–25].

## Список литературы

- [1] Karpachev S.P., Zaprudnov V.I., Bykovskiy M.A., Karpacheva I.P. Simulation studies on line intersect sampling of residues left after cut-to-length logging // *Croatian J. of Forest Engineering*, 2020, t. 41, no. 1, pp. 95–107.
- [2] Симоненков М.В., Салминен Э.О., Бачериков И.В. Основы для разработки системы мониторинга перемещения и поштучной автоматической идентификации круглых лесоматериалов в цепи поставок // *Resources and Technology*, 2016. Т. 13. № 4. С. 12–26.
- [3] Макуев В.А., Григорьев И.В., Григорьева О.И. Управление парком лесных машин // *Леспроектинформ*, 2015. № 5. С. 98.
- [4] Колесников П.Г., Мошкин Д.В., Моисеев Г.Д. Анализ конструкций гидроманипуляторов харвестеров // *Актуальные проблемы лесного комплекса*, 2016. № 45. С. 5–7.
- [5] Shilovsky V., Pitukhin A., Kostyukevich V. Maintenance Performance of Imported Forest Machines in the Russian Federation // *Resources and Technology*, 2013, no. 10, pp. 139–150.
- [6] Иванов В.А., Степанищева М.В., Кепеть И.И. Системный анализ работы комплекса машин лесозаготовительного производства // *Актуальные проблемы лесного комплекса*, 2015. № 42. С. 5–8.
- [7] Казаков Н.В., Абузов А.В. Автоматизированные системы управления процессами промышленного лесопользования // *Инженерный вестник Дона*, 2014. № 2. С. 99–106.
- [8] Робот — друг лесоруба // *Лесозаготовка. Бизнес и профессия*. URL: <http://lesozagotovka.com/rybriki/nauka-proizvodstvu/robot-drug-lesoruba/> (дата обращения 15.10.2020).
- [9] Häkli J., Sirkka A., Jaakkola K., Puntanen V., Nummala K. Challenges and Possibilities of RFID in the Forest Industry // *Radio Frequency Identification from System to Applications*, Mamun Bin Ibne Reaz, 2013, pp. 302–323. DOI: 10.5772/54205
- [10] Schraml R., Hofbauer H., Petutschnigg A., Uhl A. Tree log identification based on digital cross-section images of log ends using fingerprint and iris recognition methods // *Proceedings of the International Conference on Computer Analysis of Images and Patterns (CAIP'15)*, Valetta, Malta, 2015, pp. 752–765.
- [11] Mikita T., Klimánek M., Cibulka M. Evaluation of airborne laser scanning data for tree parameters and terrain modelling in forest environment // *Acta Universitatis Agriculturae Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 2013, v. 5, pp. 1339–1347.
- [12] Стариков А.В., Батурич К.В. Применение лазерного сканирования в технологии учета древесины // *Лесотехнический журнал*, 2015. Т. 5. № 4. С. 114–122.
- [13] Kohl M., Magnussen S., Marchetti M. Sampling methods, remote sensing and GIS multiresource forest inventory. Springer-Verlag. Berlin: Heidelberg, 2006, 376 p.
- [14] Leeuwen M., Nieuwenhuis M. Retrieval of forest structural parameters using LiDAR remote sensing // *European J. of Forest Reserch*, 2010, v. 129, no. 4, pp. 749–770.
- [15] Чайка О.П. Методика оценки доступности деревьев для захвата при моделировании работы харвестера // *ИВУЗ. Лесной журнал*, 2011. № 2. С. 89–91.
- [16] Фролов И.С. Использование рентгенотелевизионного оборудования для дефектоскопии внутренних пороков круглых лесоматериалов // *Лесотехнический журнал*, 2016. Т. 6. № 3. С. 135–141.
- [17] Hartmann C.S., Brown P., Bellamy J. Design of global SAW RFID tag // *Proceedings of 2nd International Symposium Acoustic Wave Devices for Future Mobile Communications Systems*, Chiba, Japan, 2004, pp. 15–19.
- [18] Pirotti F., Grigolato S., Lingua E., Sitzia T., Tarolli P. Laser Scanner Applications in Forest and Environmental Sciences // *Italian J. of Remote Sensing*, 2012, v. 44, pp. 109–123.
- [19] Макуев В.А., Дац Ф.А., Клубничкин В.Е. Обучение человека-оператора как основная задача управления зарубежной лесозаготовительной техникой // *Тр. Междунар. симп. «Надежность и качество»*, 2010. Т. 2. С. 36–38.
- [20] Shabaev A., Sokolov A., Urban A., Pyatin D. Mathematical model and numerical methods of the wood harvesting machines scheduling // *Resources and Technology*, 2018, no. 15, pp. 23–38.
- [21] Ширнин Ю.А., Стешина Л.А., Танрывердиев И.О. Автоматизация отбора деревьев при выборочных рубках леса // *Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник*, 2014. Т. 18. № S2. С. 19–23.
- [22] Карчин Ф.А., Лапин А.С., Тесовский А.Ю. Пути повышения конкурентоспособности машин лесозаготовок и лесного хозяйства // *Тр. Междунар. симп. «Надежность и качество»*, 2014. Т. 2. С. 207–210.
- [23] Тесовский А.Ю., Лапин А.С. Организация информационного обмена при техническом обслуживании и ремонте машин лесозаготовок и лесного хозяйства // *Техника и оборудование для села*, 2014. № 2. С. 42–44.
- [24] Sirotoev A.V., Usachev M.S., Tesovsky A.Yu., Karchin F.A., Lapin A.S. Automated system of information support for the engineering of logging and forestry on the base on an unmanned platform // *XLIII Academic Space Conference AIP Conference Proceedings 2171*, 110006, 2019. URL: <https://doi.org/10.1063/1.5133240> (дата обращения 15.03.2021).
- [25] Арико С.Е. Анализ конструкции харвестерных машин // *Тр. Белорусского государственного технологического университета. Серия 2. Лесная и деревообрабатывающая промышленность*, 2009. № 2. С. 76–81.

## Сведения об авторах

**Сиротов Александр Владиславович** — д-р техн. наук, зав. кафедрой ЛТ10-МФ «Автоматизация технологических процессов, оборудование и безопасность производств» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), [sirotov@mgul.ac.ru](mailto:sirotov@mgul.ac.ru)

**Лاپин Андрей Сергеевич** — ведущий инженер лаборатории кафедры ЛТ10-МФ «Автоматизация технологических процессов, оборудование и безопасность производств» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), [lapin@mgul.ac.ru](mailto:lapin@mgul.ac.ru)

**Тесовский Александр Юрьевич** — ст. преподаватель кафедры ЛТ10-МФ «Автоматизация технологических процессов, оборудование и безопасность производств» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), [tau@bmstu.ru](mailto:tau@bmstu.ru)

**Карчин Федор Анатольевич** — зав. лабораторией кафедры ЛТ10-МФ «Автоматизация технологических процессов, оборудование и безопасность производств» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), [karchin@mgul.ac.ru](mailto:karchin@mgul.ac.ru)

**Усачев Максим Сергеевич** — канд. техн. наук, доцент кафедры ЛТ10-МФ «Автоматизация технологических процессов, оборудование и безопасность производств» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), [usachev@mgul.ac.ru](mailto:usachev@mgul.ac.ru)

Поступила в редакцию 18.02.2021.

Принята к публикации 31.03.2021.

## SUPERVISORY CONTROLLED FOREST MACHINES

**A.V. Sirotoy, A.S. Lapin, A.Yu. Tesovskiy, F.A. Karchin, M.S. Usachev**

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

[sirotov@mgul.ac.ru](mailto:sirotov@mgul.ac.ru)

The article presents structural diagrams of an automated control system for technological processes and information flows of logging operations. The article includes subject and research methodology. The study in a field of logging operations confirms the fact of increasing rate of using special forest machinery like forest harvesters for conducting timber-logging operations. One of the main advantages of forest harvesters is the automated functions that allow the control system to optimize the cutting of the tree trunk, taking into account the price of the assortment and its optimal parameters. The majority of forest harvesters in service are equipped with a continuous pull-through harvesting head. It is shown that reducing production and resource losses, preserving the natural environment and adequate measures for the reproduction of wood resources becomes possible due to the transfer of management of forestry processes to a qualitatively new level through the use of modern automated control systems for technological processes and information flows (APCS IP). The development of a software decision support system (DSS) was conducted according to the results of the data process analysis. The automated decision support system provides support for operator activities and a model for making a decision on the appointment and execution of timber-logging operations.

**Keywords:** process automation systems, dataflow, industrial automation, forest machines, automated decision making, supervisory control

**Suggested citation:** Sirotoy A.V., Lapin A.S., Tesovskiy A.Yu., Karchin F.A., Usachev M.S. *Supervizornoe upravlenie ispolnitel'nyimi mekhanizmami mashin lesozagotovok i lesnogo khozyaystva* [Supervisory controlled forest machines]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 4, pp. 121–128. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-4-121-128

## References

- [1] Karpachev S.P., Zaprudnov V.I., Bykovskiy M.A., Karpacheva I.P. Simulation studies on line intersect sampling of residues left after cut-to-length logging // *Croatian J. of Forest Engineering*, 2020, t. 41, no. 1, pp. 95–107.
- [2] Simonenkov M.V., Salminen E.O., Bacherikov I.V. *Osnovy dlya razrabotki sistemy monitoringa peremeshcheniya i poshtuchnoy avtomaticheskoy identifikatsii kruglykh lesomaterialov v tsepi postavok* [Basis for development of timber traceability system with automatic identification of individual logs in supply chain]. *Resources and Technology*, 2016, v. 13, no. 4, pp. 12–26.
- [3] Makuev V.A., Grigor'ev I.V., Grigor'eva O.I. *Upravlenie parkom lesnykh mashin* [Forest machine fleet management]. *Lesprominform*, 2015, no. 5, p. 98.
- [4] Kolesnikov P.G., Moshkin D.V., Moiseev G.D. *Analiz konstruksiy gidromanipulyatorov kharvesterov* [Structural analysis of cranes harvesters]. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa* [Modern challenges of the forest industry], 2016, no. 45, pp. 5–7.
- [5] Shilovsky V., Pitukhin A., Kostyukevich V. Maintenance Performance of Imported Forest Machines in the Russian Federation. *Resources and Technology*, 2013, no. 10, pp. 139–150.
- [6] Ivanov V.A., Stepanishcheva M.V., Kepet' I.I. *Sistemnyy analiz raboty kompleksa mashin lesozagotovitel'nogo proizvodstva* [System analysis of work complex machines timber production]. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa* [Modern challenges of the forest industry], 2015, no. 42, pp. 5–8.

- [7] Kazakov N.V., Abuzov A.V. *Avtomatizirovannyye sistemy upravleniya protsessami promyshlennogo lesopol'zovaniya* [Process automation systems for forest industry]. *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering journal of Don], 2014, no. 2, pp. 99–106.
- [8] *Robot — drug lesoruba* [Robot as an assistant to forester]. *Lesozagotovka. Biznes i professiya* [Logging business and career] Available at: <http://lesozagotovka.com/rybriki/nauka-proizvodstvu/robot-drug-lesoruba/> (accessed 15.10.2020).
- [9] Häkli J., Sirkka A., Jaakkola K., Puntanen V., Nummila K. Challenges and Possibilities of RFID in the Forest Industry. *Radio Frequency Identification from System to Applications*, Mamun Bin Ibne Reaz, 2013, pp. 302–323. DOI: 10.5772/54205
- [10] Schraml R., Hofbauer H., Petutschnigg A., Uhl A. Tree log identification based on digital cross-section images of log ends using fingerprint and iris recognition methods. *Proceedings of the International Conference on Computer Analysis of Images and Patterns (CAIP'15)*, Valetta, Malta, 2015, pp. 752–765.
- [11] Mikita T., Klimánek M., Cibulka M. Evaluation of airborne laser scanning data for tree parameters and terrain modelling in forest environment. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 2013, v. 5, pp. 1339–1347.
- [12] Starikov A.V., Baturin K.V. *Primenenie lazernogo skanirovaniya v tekhnologii ucheta drevesiny* [The use of laser scanning technology of accounting for wood]. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry engineering journal], 2015, v. 5, no. 4, pp. 114–122.
- [13] Kohl M., Magnussen S., Marchetti M. *Sampling methods, remote sensing and GIS multiresource forest inventory*. Springer-Verlag, Berlin: Heidelberg, 2006, 376 p.
- [14] Leeuwen M., Nieuwenhuis M. Retrieval of forest structural parameters using LiDAR remote sensing. *European J. of Forest Reserch*, 2010, v. 129, no. 4, pp. 749–770.
- [15] Chayka O.R. *Metodika otsenki dostupnosti derev'ev dlya zakhvata pri modelirovanii raboty kharvestera* [Technique of Tree Availability of Engineering and Technology]. *Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal)*, 2011, no. 2, pp. 89–91.
- [16] Frolov I.S. *Ispol'zovanie rentgenotelevizionnogo oborudovaniya dlya defektoskopii vnutrennikh porokov kruglykh lesomaterialov* [The use of portable x-ray equipment for detection of inner defects of timber wood]. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry engineering journal], 2016, v. 6, no. 3, pp. 135–141.
- [17] Hartmann C.S., Brown P., Bellamy J. Design of global SAW RFID tag. *Proceedings of 2nd International Symposium Acoustic Wave Devices for Future Mobile Communications Systems*, Chiba, Japan, 2004, pp. 15–19.
- [18] Pirotti F., Grigolato S., Lingua E., Sitzia T., Tarolli P. Laser Scanner Applications in Forest and Environmental Sciences. *Italian J. of Remote Sensing*, 2012, v. 44, pp. 109–123.
- [19] Makuev V.A., Dats F.A., Klubnichkin V.E. *Obuchenie cheloveka-operatora kak osnovannaya zadacha upravleniya zarubezhnoy lesozagotovitel'noy tekhnikoy* [Forest machine operator training as the main goal in using foreign forest machines]. *Trudy mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo* [Annual International symposium Reliability and quality collected papers], 2010, v. 2, pp. 36–38.
- [20] Shabaev A., Sokolov A., Urban A., Pyatin D. Mathematical model and numerical methods of the wood harvesting machines scheduling. *Resources and Technology*, 2018, no. 15, pp. 23–38.
- [21] Shirin Yu.A., Steshina L.A., Tanryverdiev I.O. *Avtomatizatsiya otbora derev'ev pri vyborochnykh rubkakh lesa* [Automatic selection of trees in selected woodcutting]. *Moscow state forest university bulletin — Lesnoy vestnik*, 2014, v. 18, no. S2, pp. 19–23.
- [22] Karchin F.A., Lapin A.S., Tesovskiy A.Yu. *Puti povysheniya konkurentosposobnosti mashin lesozagotovok i lesnogo khozyaystva* [Improving competitiveness of the forest machines]. *Trudy mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo* [Annual International symposium Reliability and quality collected papers], 2014, v. 2, pp. 207–210.
- [23] Tesovskiy A.Yu., Lapin A.S. *Organizatsiya informatsionnogo obmena pri tekhnicheskoy obsluzhivaniy i remonte mashin lesozagotovok i lesnogo khozyaystva* [Forest machines maintenance data interchange]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela* [Machinery and Equipment for rural area], 2014, no. 2, pp. 42–44.
- [24] Sirotov A.V., Usachev M.S., Tesovsky A.Yu., Karchin F.A., Lapin A.S. Automated system of information support for the engineering of logging and forestry on the base on an unmanned platform. *XLIII Academic Space Conference AIP Conference Proceedings* 2171, 110006, 2019. URL: <https://doi.org/10.1063/1.5133240>
- [25] Arikov S.E. *Analiz konstruktivnykh kharvesternykh mashin* [Forest harvesters design and engineering analysis]. *Trudy Belorusskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya 2. Lesnaya i derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'* [Proceedings of BSTU], 2009, no. 2, pp. 76–81.

## Authors' information

**Sirotov Aleksandr Vladislavovich** — Dr. Sci. (Tech.), Head of Department of Process automation systems, machinery and equipment, industrial safety LT10 of the BMSTU (Mytishchi branch), [sirotov@mgul.ac.ru](mailto:sirotov@mgul.ac.ru)

**Lapin Andrey Sergeevich** — Staff Engineer Laboratory of Process automation systems, machinery and equipment, industrial safety LT10 of the BMSTU (Mytishchi branch), [lapin@mgul.ac.ru](mailto:lapin@mgul.ac.ru)

**Tesovskiy Aleksandr Yur'evich** — Senior Lecturer of Department of Process automation systems, machinery and equipment, industrial safety LT10 of the BMSTU (Mytishchi branch), [tau@bmstu.ru](mailto:tau@bmstu.ru)

**Karchin Fedor Anatol'evich** — Head of Laboratory of Process automation systems, machinery and equipment, industrial safety LT10, of the BMSTU (Mytishchi branch), [karchin@mgul.ac.ru](mailto:karchin@mgul.ac.ru)

**Usachev Maksim Sergeevich** — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of Department of Process automation systems, machinery and equipment, industrial safety LT10 of the BMSTU (Mytishchi branch), [usachev@mgul.ac.ru](mailto:usachev@mgul.ac.ru)

Received 18.02.2021.

Accepted for publication 31.03.2021.