

# ЛЕСНОЙ ВЕСТНИК / FORESTRY BULLETIN

Научно-информационный журнал

№ 2 ' 2018 Том 22

## 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. Королева, Москва

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

**Бурмистрова Ольга Николаевна**, д-р техн. наук, профессор, кафедра технологии и машин лесозаготовок и инженерной геодезии, ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет», zav\_tml@ugtu.net

**Деглиз Ксавье**, доктор с.-х. наук, профессор Академик IAWS, академик Французской академии сельского хозяйства, Нанси, Франция, xavier.deglise@univ-lorraine.fr

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

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

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

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

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

**Исаев Александр Сергеевич**, академик РАН, Международный институт леса, Москва

**Карелайнен Тимо**, профессор, Университет Восточной Финляндии, Лесной НИИ «Метла», Йозенсу, Финляндия

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

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

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

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

**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**, доктор техн. наук, профессор, кафедра «Колесные машины» МГТУ им. Н.Э. Баумана, kafsm9@bmstu.ru

**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

**Малашин Алексей Анатольевич**, доктор физ.-мат. наук, профессор, кафедра компьютерных систем и сетей МГТУ им. Н.Э. Баумана, saf-vt@mgu.ac.ru

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

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

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

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

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

**Пастори Золтан**, д-р техн. наук, доцент, директор Инновационного центра Шопронского университета, Венгрия, gorbacheva-g@yandex.ru

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

**Полуэктов Николай Павлович**, д-р техн. наук, профессор, секция физики МГТУ им. Н.Э. Баумана, poluekt@mgu.ac.ru

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

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

**Стрекалов Александр Федорович**, канд. техн. наук, РКК «Энергия», ЗАО «ЭЭМ», Королев

**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, Королев

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

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

**Чумаченко Сергей Иванович**, д-р биол. наук, профессор, секция систем обработки информации и управления МГТУ имени Н.Э. Баумана, chumachenko@mgu.ac.ru

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

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

**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, schepd@gmail.com

Ответственный секретарь Расева Елена Александровна

Редактор Л.В. Забродина  
Перевод М.А. Карлухиной  
Электронная версия Ю.А. Рязжской

Учредитель МГТУ им. Н.Э. Баумана

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

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-68118 от 21.12.2016

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

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

Выходит с 1997 года

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

Дата выхода в свет .05.2018.

Тираж 600 экз.

Заказ №

Объем 18,25 п. л.

Цена свободная

# LESNOY VESTNIK / FORESTRY BULLETIN

Scientific Information journal  
№ 2 ' 2018 Vol. 22

## Editor-in-chief

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

## Editorial council of the journal

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

**Lipatkin Vladimir Aleksandrovich**, professor, Ph. D. (Biol.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow  
**Malashin Alexey Anatolyevich**, professor, Dr. Sci. (Physics and Mathematics), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow  
**Martynyuk Aleksandr Aleksandrovich**, Dr. Sci. (Agricultural), VNIILM, Moscow  
**Melekhov Vladimir Ivanovich**, professor, Dr. Sci. (Tech.), academician of the Russian Academy of Natural Sciences, NARFU, Arkhangelsk  
**Moiseev Nikolay Aleksandrovich**, professor, Dr. Sci. (Agricultural) academician of the Russian Academy of Sciences, BMSTU (Mytishchi branch), Moscow  
**Niemz Peter**, Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h.c., Prof. for Wood Physics, ETH Zurich (Swiss Federal Institute of Technology in Zurich; Eidgenossische Technische Hochschule Zurich)  
**Oblivin Aleksandr Nikolaevich**, professor, Dr. Sci. (Tech.), academician of the Russian Academy of Natural Sciences and MANVSH, Honored worker of science and equipment of the Russian Federation, BMSTU, Moscow  
**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. (Technical), professor, Dr.Sci.(Tech.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow  
**Rodin Sergey Anatol'evich**, professor, the Dr. Sci. (Agricultural), ARRISMF, Moscow  
**Rykunin Stanislav Nikolaevich**, professor, Dr. Sci. (Tech.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow  
**Shegelman Ilya Romanovich**, professor, Dr. Sci. (Technical), PSU, Petrozvodsk  
**Shchepashchenko Dmitry Gennadievich**, Associate Professor, Dr. Sci. (Biological), Senior Researcher, International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Austria  
**Strekalov Aleksandr Fedorovich**, Ph. D. (Tech.), Rocket and space corporation «ENERGIA», Korolev  
**Teodoronskiy Vladimir Sergeevich**, professor, Dr. Sci. (Agricultural), academician of the Russian Academy of Natural Sciences, BMSTU (Mytishchi branch), Moscow  
**Titov Anatoliy Matveevich**, Ph. D. (Tech.), Deputy Chief of Department, Scientific Secretary of the Board of MCC TSNIMASH, Korolev  
**Fedotov Gennadiy Nikolaevich**, Dr. Sci. (Biol.), Lomonosov Moscow State University, Moscow  
**Chubinskiy Anatoliy Nikolaevich**, professor, Dr. Sci. (Tech.), Saint Petersburg State Forest Technical University, St. Petersburg  
**Shadrin Anatoliy Aleksandrovich**, professor, Dr. Sci. (Tech.), academician of the Russian Academy of Natural Sciences, BMSTU (Mytishchi branch), Moscow  
**Shimkovich Dmitriy Grigor'evich**, professor, Dr. Sci. (Tech.), OOO «Kudesnik», Moscow

Assistant Editor Raseva Elena Aleksandrovna

Editor L.V. Zabrodina

Translation by M.A. Karpukhina  
Electronic version 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 .05.2018.  
Circulation 600 copies  
Order №  
Volume 18,25 p. p.  
Price free

# СОДЕРЖАНИЕ

## БИОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА

<b>Белова Н.А., Морозова Т.И.</b> Динамика лесопатологического состояния пихтовых древостоев Байкальского заповедника (1983–2015) .....	5
<b>Болдырев С.Л.</b> Видовое и структурное разнообразие лесных орнитоценозов Западной Сибири на примере Российского Приишимья .....	16
<b>Федотов Г.Н., Федотова М.Ф., Шалаев В.С., Батырев Ю.П., Горепекин И.В.</b> Применение системного подхода к изучению стимуляции прорастания семян в почвах .....	28
<b>Моисеев Н.А.</b> Методические рекомендации по определению рыночных цен древесины на корню и совершенствованию экономического механизма устойчивого управления лесами .....	35

## ЛАНДШАФТНАЯ АРХИТЕКТУРА

<b>Бондорина И.А., Кабанов А.В., Мамаева Н.А., Рябцева А.А., Хохлачева Ю.А.</b> Растения с декоративной окраской листьев в составе коллекций ОДР ГБС РАН .....	41
<b>Ефимов С.В., Дегтярева Г.В.</b> Коллекция пионов в Ботаническом саду МГУ: пример взаимодействия между фундаментальными и прикладными направлениями исследований .....	47
<b>Бочкова И.Ю., Бобылева О.Н.</b> К вопросу подбора комнатных растений для фитокомпозиций .....	55

## ЛЕСОИНЖЕНЕРНОЕ ДЕЛО

<b>Питухин А.В., Шиловский В.Н., Костюкевич В.М., Власов В.В.</b> Методика формирования и поставки многономенклатурного комплекта запасных частей .....	61
--	----

## ДЕРЕВООБРАБОТКА И ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

<b>Рыбин Б.М., Завражнова И.А., Рыбин Д.Б.</b> Определение физических показателей полимеров для деревообработки по аддитивным функциям групповых вкладов химических структурных звеньев .....	68
<b>Курышов Г.Н., Косарин А.А.</b> Импульсная сушка пиломатериалов из древесины бука в конвективных сушильных камерах .....	76
<b>Чемоданов А.Н., Минина Е.А., Ямщиков Е.Ю.</b> Перспективы развития деревянного домостроения.....	81
<b>Гаврилов Т.А., Евстигнеев В.Д., Зайцева М.И., Колесников Г.Н., Никонова Ю.В.</b> Применение отходов лесопиления для очистки поверхностных стоков на объектах транспортной инфраструктуры .....	87
<b>Тулузаков Д.В., Спирин Б.Л.</b> Модель формирования насыпной структуры пакета композиционного материала из измельченных древесных частиц .....	95
<b>Тарасов С.М., Иванкин А.Н., Грачева И.В., Леонтьев П.К.</b> Концепция создания высококачественной пищевой упаковки из вторичных целлюлозных материалов .....	104
<b>Запруднов В.И., Карпачёв С.П.</b> Разработка монолитных трехслойных стеновых конструкций с теплоизоляционным слоем из древесно-цементного материала .....	117

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

<b>Корольков А.В., Королькова Л.В., Сапожников В.Б., Маслов В.А.</b> Оценка объема жидкости в телесных углах транспортных желобов топливного бака космического аппарата .....	120
<b>Полуэктов Н.П., Царьгородцев Ю.П., Усатов И.И., Козловская Е.П., Амеликин О.О., Восканян Г.Р.</b> Спектр излучения разряда в магнетроне с полым катодом .....	125
<b>Брюквин А.В., Брюквина О.Ю.</b> О решении уравнений малых пространственных колебаний растянутой нити в цилиндрических координатах.....	134
<b>Ветошкин А.М., Шум А.А.</b> Решение матричных уравнений Сильвестра в случае коммутирующих коэффициентов .....	140

## ЮБИЛЕЙ

<b>Моисеев Н.А.</b> К 90-летию со дня рождения В.А. Чивилихина (1928–1984), писателя, публициста, исследователя .....	144
--	-----

# CONTENTS

## BIOLOGICAL AND TECHNOLOGICAL ASPECTS OF FORESTRY

<b>Belova N.A., Morozova T.I.</b> Dynamics of forest pathology condition of fir stands of the Baikal Nature Reserve (1983–2015).....	5
<b>Boldyrev S.L.</b> Species and structural diversity of forest bird communities in Western Siberia in the Russian Ishim.....	16
<b>Fedotov G.N., Fedotova M.F., Shalaev V.S., Batyrev Yu.P., Gorepekin I.V.</b> A systematic approach application to the study of seed's germination stimulation in soils .....	28
<b>Moiseev N.A.</b> Methodological recommendations for the determination of the market prices of wood to the root and improvement of the economic mechanism of sustainable forest management .....	35

## LANDSCAPE ARCHITECTURE

<b>Bondorina I.A., Kabanov A.V., Mamaeva N.A., Ryabtseva A.A., Khokhlacheva Yu.A.</b> Plants with decorative coloring of leaves as a part of collections of DDP of the MBG RAS .....	41
<b>Efimov S.V., Degtyareva G.V.</b> Peony plant collection in the MSU Botanic garden: an example of cooperation between fundamental and applied strategies .....	47
<b>Bochkova I.Yu., Bobyleva O.N.</b> Concerning the selection of indoor plants for phytocompositions .....	55

## FOREST ENGINEERING

<b>Pitukhin A.V., Shilovskiy V.N., Kostyukevich V.M., Vlasov V.V.</b> The method of formation and supply of multiproduct spares kit .....	61
--	----

## CHEMICAL PROCESSING OF WOOD

<b>Rybin B.M., Zavrazhnova I.A., Rybin D.B.</b> Determination of physical parameters of polymers for woodworking functions on the additive group contributions chemical structural units .....	68
<b>Kuryshov G.N., Kosarin A.A.</b> Impulse drying of saws from wood buck in convective drying cameras .....	76
<b>Chemodanov A.N., Minina E.A., Yamshchikov E.Yu.</b> Development prospects of wooden building house.....	81
<b>Gavrilov T.A., Evstigneev V.D., Zaytseva M.I., Kolesnikov G.N., Nikonova Yu.V.</b> The use of wood sawdust for treatment of surface runoff on the transport infrastructure .....	87
<b>Tuluzakov D.V., Spirin B.L.</b> Model for forming the shaft structure of a package of composite material from milled wood particles .....	95
<b>Tarasov S.M., Ivankin A.N., Gracheva I.V., Leont'ev P.K.</b> Concept of high-quality food packaging creation from recycled materials .....	104
<b>Zaprudnov V.I., Karpachyov S.P.</b> Development of monolithic three-layer wall constructions with thermal insulating layer from wood-cement material .....	117

## MATH MODELING

<b>Korol'kov A.V., Korol'kova L.V., Sapozhnikov V.B., Maslov V.A.</b> Estimation of the volume of fluid in the solid angles of the transport chutes of the fuel tank of a spacecraft .....	120
<b>Poluektov N.P., Tsar'gorodtsev Yu.P., Usatov I.I., Kozlovskaya E.P., Amel'kin O.O., Voskanyan G.R.</b> Emission spectrum of a discharge in hollow cathode magnetron .....	125
<b>Bryukvin A.B., Bryukvina O.Yu.</b> About solution of the equations of small spatial oscillations of flexible string in cylindrical coordinates .....	134
<b>Vetoshkin A.M., Shum A.A.</b> Solving matrix equations of Silvester for the case of commuting coefficients .....	140

## ANNIVERSARY

<b>Moiseev N.A.</b> To the 90th anniversary of the birthday of V.A. Chivilikhin (1928–1984), writer, publicist, researcher.....	144
--	-----



УДК 630.453

DOI: 10.18698/2542-1468-2018-2-5-15

## ДИНАМИКА ЛЕСОПАТОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПИХТОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ БАЙКАЛЬСКОГО ЗАПОВЕДНИКА (1983–2015)

Н.А. Белова<sup>1</sup>, Т.И. Морозова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБУ «Байкальский государственный природный биосферный заповедник», 671220, Республика Бурятия, Кабанский район, пос. Танхой, Красногвардейская ул., д. 34

<sup>2</sup>ФГБУ «Иркутская межобластная ветеринарная лаборатория», 664005, г. Иркутск, ул. Боткина, д. 4

baikalnr@mail.ru

Приводится анализ изменений лесопатологического состояния пихтовых насаждений Байкальского заповедника, произошедших за 1983–2015 гг. На основании данных о состоянии деревьев на постоянных пробных площадях в типичных древостоях заповедника построены диаграммы динамики следующих параметров состояния пихт: средней категории состояния; среднего диаметра; доли живых деревьев; среднего балла покраснения хвои; доли пихт, пораженных ржавчинным раком; текущего отпада. Средняя категория состояния пихтовых древостоев почти на всех пробных площадях является промежуточной между значениями «ослабленное» и «сильно ослабленное». Значительное ухудшение состояния пихт наблюдается в ложбине у верхней границы леса, а также вдоль туристической тропы. В перестойных ослабленных насаждениях верхней границы леса отмечается достаточно стабильное состояние пихт. На радиальный прирост пихты угнетающее влияние оказывает наличие соседних деревьев, а также повреждение вершин. Доля живых деревьев почти на всех пробных площадях уменьшилась. Сильное покраснение хвои пихт наблюдалось в 1988 и 2007 гг. После вспышек ржавчинного рака пихты в древостоях происходят активные процессы усыхания. Доля отпада с признаками ржавчинного рака достигает 28 % от числа деревьев на пробной площади. Массовое усыхание пихты наблюдалось в 1990–1994/95 гг. и в 2000–2005 гг. Анализ погодных данных позволил выявить прямую зависимость процессов усыхания от погодных явлений. Погодные условия наряду с биотическими факторами способствуют как возникновению, так и затуханию вспышек массового размножения насекомых. Пихтовые древостои Байкальского заповедника относятся ко II категории лесопатологического состояния (насаждения с нарушенной устойчивостью), а иногда к III категории (насаждения, утратившие жизнеспособность).

**Ключевые слова:** Байкальский заповедник, пихта, динамика, состояние, текущий отпад

**Ссылка для цитирования:** Белова Н.А., Морозова Т.И. Динамика лесопатологического состояния пихтовых древостоев Байкальского заповедника (1983–2015) // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 2. С. 5–15. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-2-5-15

Исследования проводились на территории Байкальского заповедника в центральной части хребта Хамар-Дабан. На северном его склоне выпадает максимальное для Прибайкалья количество осадков. Здесь произрастают леса из пихты (*Abies sibirica* Led.), составляющие 53,0 % покрытой лесом площади северного склона. Район исследований важен в связи с изучением воздействия атмосферных выбросов Байкальского целлюлозно-бумажного комбината (остановлен в конце декабря 2013 г.) и предприятий промышленного комплекса гг. Иркутска, Ангарска, Усолья, Братска и Шелехова на леса хребта Хамар-Дабан.

В 1983–1984 гг. специалистами кафедры промышленной экологии и защиты леса Московского лесотехнического института (МЛТИ) под руководством проф. Е.Г. Мозолева было проведено лесопатологическое обследование древостоев Байкальского заповедника [1, 2]. Экспедицией, которую возглавила Т.В. Галасьева, собрана коллекция и составлен список дендрофильных насекомых и дереворазрушающих грибов. В полевых работах и обработке данных исследований принимали участие Э.С. Соколова, Е.П. Кузьмичев, Т.В. Шарапа, студенты I–IV курсов факультета



Е.Г. Мозолева и Э.С. Соколова в гольцах р. Осиновки (Мишихинской)

E.G. Mozolevskaya and E.S. Sokolov in the loaches of river Osinovka (Mishikha)

лесного хозяйства (ФЛХ) МЛТИ. В типичных древостоях заповедника было заложено девять постоянных пробных площадей (ППП): шесть в пихтовых древостоях северного макросклона хребта Хамар-Дабан заповедника и три в сосновых древостоях южного макросклона хребта Хамар-Дабан.

В 1986 г. для выявления санитарного состояния лесных насаждений южной части оз. Байкал специалистами Московского специализированного лесоустроительного предприятия Всесоюзного объединения «Леспроект» под руководством начальника партии М.Е. Гаврильца было проведено детальное обследование пихтовых лесов северного склона хребта Хамар-Дабан [3].

С 1988 г. в заповеднике проводились исследования по теме «Динамика лесопатологического состояния древостоев Байкальского заповедника». Повторные перечеты проводились: в четные годы — в пихтовых древостоях на шести ППП северного макросклона хребта Хамар-Дабан, в нечетные годы — в сосновых древостоях на трех ППП южного макросклона. В полевых работах принимали участие студенты ФЛХ МЛТИ и работники лесной охраны заповедника.

В 2014 г. специалистами ФГБУ «Рослесинфорг» увеличена сеть ППП. Проведены перечеты, обновлена маркировка деревьев на ППП.

## Цель работы

Цели настоящей работы: характеристика санитарного состояния типичных для заповедника пихтовых насаждений; анализ изменений, произошедших в насаждениях заповедника за 1983–2015 гг.; изучение причин ослабления и усыхания древостоев, выявление роли в этих процессах возбудителей болезней и дендрофильных насекомых.

## Материалы и методы

Темнохвойные леса Хамар-Дабана ослаблены вследствие комплексного влияния избыточного увлажнения и атмосферного загрязнения, что способствует широкому распространению болезнетворных грибов, бактерий и дендрофильных насекомых [1, 4–6].

При лесопатологическом обследовании 1983–1984 гг. [1] большое значение придавалось выявлению причин усыхания побегов и ветвей пихты как показателю, характеризующему влияние различных факторов на современное состояние пихтарников.

При анализе выявлены следующие причины покраснения ветвей:

- повреждения усачом в виде дополнительного питания;
- повреждение побегов тлей;
- покраснение хвои, ризосфера;
- ржавчинный рак (РР);
- некроз побегов и ветвей;
- засмоление.

На живых деревьях развиваются четыре вида возбудителей гнилей — трутовик Гартига, трутовик Швейнитца, корневая губка и еловый комлевой трутовик.

Покраснение молодых побегов в кронах пихты периодически происходит в пихтовых долинах субальпийского пояса Хамар-Дабана ранней весной. Оно вызвано интенсивной транспирацией хвои при аномально высокой дневной температуре до схода снежного покрова. При этом активность корневой системы невелика и вода не поступает в кроны деревьев. От «солнечных ожогов» сильнее страдает молодая прошлогодняя хвоя [7].

Причиной подвешивания кроны является повреждение грибом *Durandiella sibirica* Schabunin [8]. Увядание побегов текущего года вызывает грибок *Delphinella balsamea* (Waterman) E. Mull. [6].

Работы на пробных площадях и анализ полученных данных осуществляли с применением методик лесопатологического обследования [9–11].

При лесопатологическом обследовании ППП учитывают восемь категорий санитарного состояния древостоя: I — без признаков ослабления, II — ослабленный, III — сильно ослабленный, IV — усыхающий, V — сухостой текущего года, VI — сухостой прошлых лет, VII — ветровал, VIII — бурелом. Во время перечетов деревьев фиксируют диаметр, категорию состояния, признаки ослабления, заселенность стволовыми вредителями.

Оценка покраснения хвои пихты дается по четырем категориям: 1-я — единичное покраснение (до 5 %); 2-я — 10...15 %; 3-я — до 30 %; 4-я — покрасневшая хвоя составляет 30 % и более.

В качестве одного из критериев оценки динамики состояния древостоев выбрана сумма всех живых деревьев (I, II и III категории состояния) на пробных площадях. Это наиболее объективный показатель, поскольку при определении первых трех категорий состояния возможна субъективная оценка.

На основании данных постоянных пробных площадей определяют текущего отпада в насаждениях основных лесобразующих пород и его варьирование, характеризуют причины усыхания.

При определении доли отпада учитывают все деревья до VI категории, а также ветровал и бурелом, выпавшие в интервале между пересчетами. После однократного учета ветровал и бурелом подлежат исключению из ведомостей перечетов.

Для точной диагностики заболевания нужны лабораторные исследования, поэтому во время полевых обследований фиксируют внешние признаки ослабления. При этом у пихты на ППП учтены следующие признаки ослабления: раны ржавчинного рака, «ведьмины метель», повреждение вершин, увядание молодых побегов, угнетенность соседними деревьями, механические повреждения, морозобоины, подвешивание кроны, или «перетяжка кроны», смолоподтеки, трещиноватая кора, изреженность кроны, ядровая гниль, сухобочинность. Выявлены сле-

дующие возбудители заболеваний: *Melampsorella caryophyllacearum* J. Schrot. (вызывает ржавчинный рак), *Lachnellula pini* (Brunch.) Dennis (вызывает раковое заболевание), бактерии родов *Erwinia* и *Pseudomonas* (вызывают бактериальную водянку), *Lachnellula willkommii* (Hartig) Dennis (вызывает ступенчатый рак), *Herpotrichia jniperi* (Duby) Petz. (вызывает бурое шютте), опенок (*Armillaria borealis* Marxm. & Korhonen, *Armillaria mellea* (Vahl) P. Kumm.), стереум жестковолосистый (*Stereum hirsutum* (Willd.) Pers.), *Lophodermium pinastri* (Schrad. Fr.) Chevall, *Lophodermium seditiosum* Minter, Staley et Millar (вызывают обыкновенное шютте), трутовик валежный (*Trichaptum abietinum* (Dicks. Fr.) Ryvarden), климактоцистис северный (*Climatocistis borealis* (Fr.) Kotl. et Pouz), трутовик Гартига (*Phellinus hartigii* (Allesch. & Schnabl) Pat.), губка корневая (*Fomitopsis annosa* (Fr.) Karst.), трутовик окаймленный (*Fomitopsis pinicola* (Sw. Fr.) Karst.), трутовик Швейнитца (*Phaeolus schweinitzii* (Fr.) Pat.), губка листовничная (*Fomitopsis officinalis* (Fr.) Bond. et Sing.) трутовик еловый комлевой (*Onnia triquetra* (Pers.) Imazeki) и др.

С 2015 г. проводится картирование деревьев на ППП. Необходимость этого мероприятия очевидна и доказана нашими исследованиями. Например, после 17-летнего перерыва на ППП № 8 не найдено 36 деревьев. При наличии карты расположения деревьев искать их было бы гораздо легче и, вероятно, эта цифра была бы меньше.

Лесопатологическое состояние оценивается по трем категориям для насаждений главных пород: I — устойчивые (здоровые), II — с нарушенной устойчивостью, III — утратившие жизнеспособность.

Ниже приводятся описания ППП северного макросклона хребта Хамар-Дабан, сделанные в следующие года закладки: 1983, 1984, 2013, 2014.

ППП № 1. 1983 г. Юбилейное лесничество. Кв. 95, выд. 6; состав 6П, 1Е, 2Б, 1Р6 + К; класс возраста IV; высота 21 м; диаметр 22 см; бонитет IV; бадановый; полнота 0,5; экспозиция С–15°; площадь 0,3 га; 200 дер.

ППП № 2. 1983 г. Выдринское лесничество. Кв. 106, выд. 1; состав 10П + К, Е, Б; класс возраста III; высота 12 м; диаметр 12 см; бонитет III; чернично-разнотравный; полнота 0,8; высота над уровнем моря 790 м; 0,4 га; 258 дер.

ППП № 6. 1984 г. Мишихинское лесничество. Кв. 35, выд. 30; состав 10П + Б; класс возраста X; высота 16 м; диаметр 18 см; бонитет V; разнотравный; полнота 0,4; экспозиция СЗ–30°; 0,5 га; 284 дер. Травяной покров: борец высокий, бадан толстолистный, маралий корень, чемерица Лобеля.

ППП № 7. 1984 г. Мишихинское лесничество. Кв. 35, выд. 30; состав 10П + К; класс возраста X; высота 14 м; диаметр 18 см; бонитет V; разнотравный; полнота 0,5; экспозиция СЗ–30°; 0,15 га;

215 дер. Травяной покров: вейник, бадан толстолистный, чемерица лобеля, сверция байкальская.

ППП № 8. 1984 г. Мишихинское лесничество. Кв. 75, выд. 7; состав 7П, 1Е, 1К, 1Б; класс возраста X; высота 21 м; диаметр 20 см; бонитет IV; злаково-бадановый зеленомошный; полнота 0,5; экспозиция ЮВ–30°; 0,25 га; 130 дер.

ППП № 9. 1984 г. Мишихинское лесничество. Кв. 125, выд. 7; состав 5П, 3Е, 2К + Б; класс возраста III; высота 24 м; диаметр 18 см; бонитет IV; злаково-зеленомошный; полнота 0,7; 0,5 га; 344 дер.

ППП № 10. 2014 г. Выдринское лесничество. Кв. 221, выд. 8; состав 9 П1, Б + К + Е; класс возраста IV; высота 18 м; диаметр 17 см; бонитет IV; чернично-мелкотравно-папоротниковый зеленомошный; полнота 0,6; 0,15 га; 202 дер.

ППП № 11. 2013 г. Выдринское лесничество. Кв. 90, выд. 16; состав 10П + К + Е; класс возраста V; высота 18 м; диаметр 22 см; бонитет IV; чернично-бадановый; полнота 0,4; 0,4 га; 133 дер.

ППП № 12. 2014 г. Мишихинское лесничество. Кв. 219, выд. 12; состав 7П, 3К + Е; класс возраста V; высота 18 м; диаметр 22 см; бонитет III; папоротниково-злаковый; полнота 0,8; 0,3 га; 289 дер.

Периоды наблюдений за пихтовыми древостоями на ППП северного склона хребта Хамар-Дабан следующие: № 1 — 32 года, № 6, 7 — 31 год, № 2 — 22 года, № 8, 9 — 16 лет.

Для выяснения зависимости процессов усыхания от погодных явлений использованы данные метеостанции «Танхой». При этом учитывались сведения о среднегодовой температуре воздуха и количестве годовых осадков с 1971 по 2015 г., величина гидротермического коэффициента Селянинова (ГТК = 5) во время вегетационного периода (с мая по сентябрь) за 1971–2015 гг. ГТК рассчитывался по следующей формуле:

$$\text{ГТК} = P / \Sigma t \cdot 10,$$

где  $P$  — сумма осадков;

$\Sigma t$  — сумма среднесуточных температур в рассматриваемый период.

## Результаты и обсуждение

Полученные сведения составляют ряды данных о санитарном состоянии деревьев на ППП в типичных древостоях Байкальского заповедника. Это позволило проследить динамику следующих лесопатологических показателей пихтовых древостоев на ППП:

- средней категории состояния пихты;
- среднего диаметра;
- доли живых деревьев (ДЖД);
- среднего балла покраснения хвои пихты;
- доли пораженных ржавчинным раком пихт;
- текущего отпада;
- биологической устойчивости древостоев.

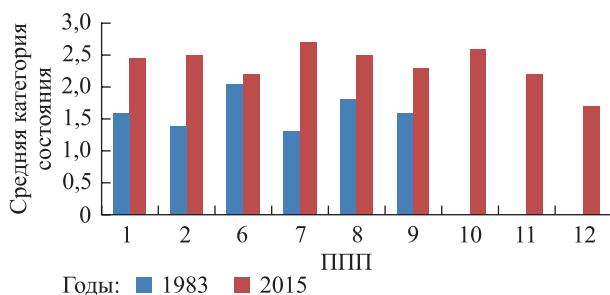


Рис. 1. Средняя категория состояния пихт на ППП Байкальского заповедника в годы первого и последнего перечетов

Fig. 1. The average category of the state of fir at the Baikal Reserve testing areas in the years of the first and last counts

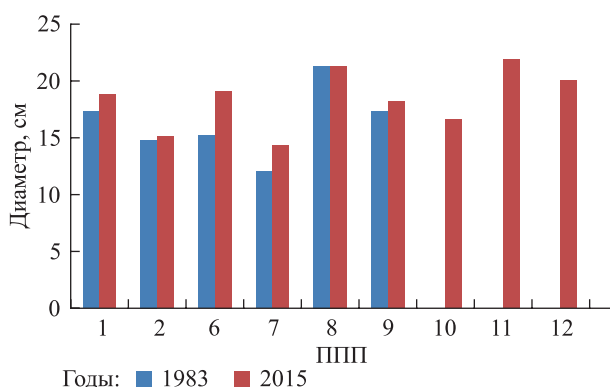


Рис. 2. Средний диаметр пихт на ППП Байкальского заповедника в годы первого и последнего перечетов

Fig. 2. Average diameter of fir at the Baikal Reserve testing areas in the years of the first and last counts

Проведен анализ: влияния различных факторов ослабления на величину прироста по диаметру на высоте 1,3 м; роли РР в усыхании пихтовых древостоев; зависимости процессов ослабления и усыхания древостоев от погодных условий. Классы возрастов пихтового древостоя: ППП № 1 — IV класс, ППП № 2 и 9 — III класс, ППП № 6–8 — X класс.

Как видно из рис. 1, в 2000–2015 гг. в пихтовых древостоях заповедника протекают процессы ослабления. Средняя категория состояния пихтовых древостоев почти на всех пробных площадях является промежуточной между значениями «ослабленное» (1,7 на ППП № 12) и «сильно ослабленное» (2,7 на ППП № 7 Мишихинского лесничества в ложбине у верхней границы леса). Вероятно, ограждение горами способствует скоплению загрязняющих осадков, приносимых воздушными массами из районов промышленных предприятий.

Сильное ухудшение состояния пихт наблюдается также на ППП № 10 р. Осиновки Выдринского лесничества вдоль туристической тропы. На ППП № 10 проведены учеты деревьев с плодами

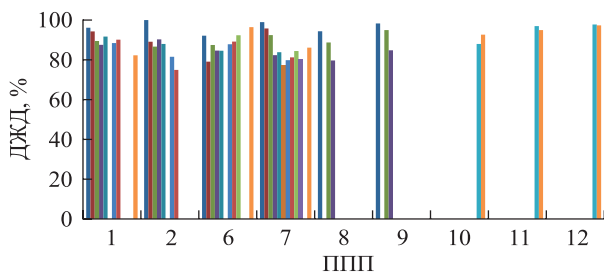


Рис. 3. Динамика доли живых пихт на ППП Байкальского заповедника в 1983–2015 гг.

Fig. 3. Dynamics of the proportion of live fir at the Baikal Reserve testing areas in 1983–2015

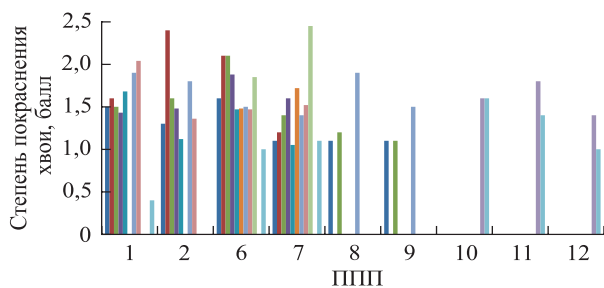


Рис. 4. Степень покраснения хвои пихты на ППП Байкальского заповедника в 1984–2015 гг.

Fig. 4. Degree of fir needles reddening at the Baikal Reserve testing areas in 1984–2015

ми телами оленка. В 2014 г. доля деревьев с плодовыми телами оленка составляла 7,46 % общего числа деревьев на пробной площади. В 2015 г. плодовые тела оленка наблюдались на 6,1 % из учтенных пихт. В 2016 г. доля зараженных пихт без учета бурелома составила 6,8 %. При обследовании пихтового бурелома плодовые тела оленка отмечены на 76,2 % деревьев. Большая часть пораженных деревьев расположена ближе к тропе. Как и везде, на туристических тропах чаще повреждается корневая система и корни деревьев заселяются спорами грибов.

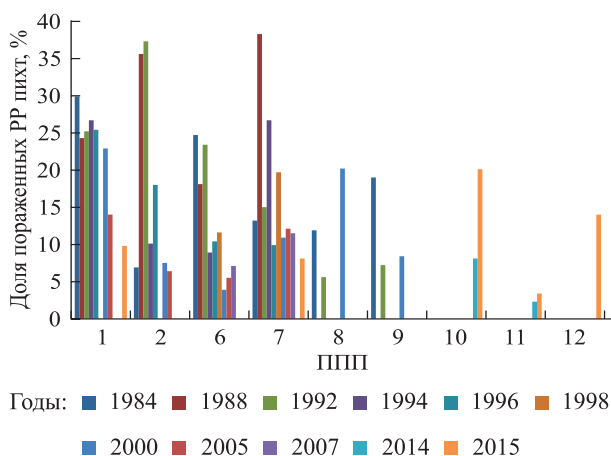
На ППП № 6 в ослабленных спелых насаждениях верхней границы леса наблюдается достаточно стабильное состояние пихт. Это объясняется влиянием нескольких факторов: выпали тонкие угнетенные деревья, уже произошел естественный отбор и жизнеспособность оставшихся в экстремальных условиях деревьев оказалась сильнее.

Средний диаметр пихт на ППП северного склона и его динамика на ППП № 1, 2, 6–9, приведены на рис. 2.



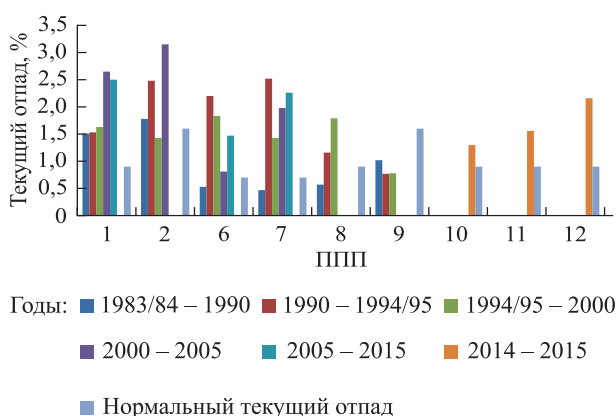


**Рис. 5.** Усохшая «ведьмина метла»  
**Fig. 5.** The dried-up «witch's broom»



**Рис. 6.** Динамика доли пихт, пораженных ржавчинным раком, на ППП Байкальского заповедника в 1983–2015 гг.

**Fig. 6.** Dynamics of the share of fir affected by rusted cancers at the Baikalsky Reserve testing areas in 1983–2015.



**Рис. 7.** Динамика усыхания пихты на ППП Байкальского заповедника в 1984–2015 гг.

**Fig. 7.** Dynamics of fir drying at the Baikalsky Reserve testing areas in 1984–2015

Очевидно, что величина диаметра зависит от лесорастительных условий. Так, молодые пихты на ППП Юбилейного и Выдринского лесничеств в год закладки имеют диаметр больше или почти

такой же, как у спелых деревьев верхней границы леса Мишихинского лесничества. А за 31 год средний диаметр больше (на 3,9 см) увеличился у деревьев в верхней границе леса (на ППП № 6), так как лесорастительные условия здесь лучше.

Анализ зависимости прироста по диаметру от различных факторов ослабления пихты позволил сделать следующие выводы. Существенный прирост по диаметру наблюдается у деревьев без внешних признаков ослабления либо с наличием только трещиноватой коры. Деревья с ранами ржавчинного рака пихты или «ведьмиными метлами», перетяжкой крон встречаются и занимают значительную часть как среди деревьев с очень малым приростом по диаметру, так и среди деревьев с хорошим приростом. Вполне возможно, что ослабления, вызванные этими причинами, мало влияют на величину прироста деревьев по диаметру. Большее влияние на радиальный прирост пихты оказывают угнетение со стороны соседних деревьев и повреждение вершин, в результате которого развивается суховершинность, многовершинность и т. п. [12].

Как видно из рис. 3, доля живых деревьев почти на всех пробных площадях, заложенных в 1980-х г., уменьшилась. Исключение составили ППП № 6 и 10. Увеличение доли живых деревьев на ППП № 10 объясняется тем, что в 2014 г. однократно учтены бурелом и ветровал, которые составили соответственно 6,5 и 1,1 %. Кроме того, в 2015 г. пробная площадь была расширена, добавлены 65 пихт.

Сильное покраснение хвои наблюдалось на ППП № 2 Выдринского лесничества, а также на ППП № 6 (1988) и 7 в (2007) (рис. 4). Это говорит об активизации процессов ослабления.

Самым распространенным заболеванием у пихты является ржавчинный рак пихты *Melampsorella caryophyllasearum* Schroet. Признаками поражения деревьев ржавчинным раком являются «ведьмины метлы», раковые опухоли на ветвях и стволах. Раковая опухоль окольцовывает тонкие ветви за 3–5 лет, после чего «ведьмины метлы» усыхают (рис. 5) и опадают. Ветви, зараженные раком, ослаблены, хвоя на таких деревьях полностью повреждается ризосферой *Rhizosphaera pini* (Crda.) Maubl. и опадает [6].

Как видно из рис. 6, самые сильные вспышки заболевания РР наблюдались на ППП № 1, 2, 7 соответственно в 1983, 1988, 1992 гг. Процент деревьев с признаками ржавчинного рака сильно варьируется. Резкое уменьшение его можно объяснить отмиранием и опадением «ведьминых метл», усыханием пораженных деревьев. Из сведений о признаках ослабления, предшествующих усыханию пихты, сделана выборка о количестве усохших пихт, ранее пораженных ржавчинным раком (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

**Степень поражения пихтового отпада ржавчинным раком  
на ППП Байкальского заповедника с 1983 по 2015 гг.**

**Degree of affection of fir virgin rust with cancer in the Baikal Nature Reserve from 1983 to 2015**

ППП	Количество деревьев в год закладки, шт.	Длительность наблюдения, лет	Отпад, %				
			в среднем за год	общий	вследствие поражения РР / доля от общего количества, %		
					Всего	VI	VIII + VII
1	107	32	1,5	48,1	28 / 58,2	7,5 / 61	20,5 / 57,9
2	228	22	2,1	45,2	23,2 / 51,3	3,5 / 53,3	19,7 / 51,1
6	258	31	1,2	35,9	7 / 19,5	2,3 / 33,3	4,7 / 20
7	214	31	1,4	43,9	15 / 34,0	5,2 / 42,3	9,8 / 38,2
8	92	16	1,2	19,6	5,4 / 27,6	5,4 / 83,3	0 / 0
9	116	16	0,9	13,8	6,0 / 43,5	5,1 / 54,5	0,9 / 8,3

Т а б л и ц а 2

**Биологическая устойчивость древостоев  
Biological stability of stands**

ППП	Таксационная характеристика	Класс возраста	Площадь, га	Текущий отпад, %	Общий отпад, % / длительность периода наблюдения, лет	Бонитет	Полнота	Нормальный текущий отпад, %	Пораженность болезнями	Заселенность стволовыми вредителями	Класс биологической устойчивости
1	6П, 1Е, 2Б 1Р6 + К	VI	0,3	2,5	48,1 / 32	IV	0,5	1,7	49,6	1,0	II
2	10П + К, Е, Б	IV	0,4	3,15	45,2 / 22	III	0,6	2,7	37,3	4,3	II
6	10П + Б	XII	0,5	1,5	35,9 / 31	V	0,4	0,7	30,5	3,4	II
7	10П + К	XII	0,15	2,3	43,9 / 31	IV	0,5	0,7	34,4	3,3	III

Как видно из табл. 1, ржавчинный рак пихты играет важную роль в ослаблении и усыхании пихтовых древостоев. Доля отпада с признаками РР достигает 28 % деревьев и 58,2 % общего количества отпада (ППП № 1).

На рис. 7 представлена динамика среднего годового отпада в отдельные периоды наблюдений.

Как видно из рис. 7, сильное усыхание наблюдалось в период 1990–1994/95 гг. на ППП № 2, 6, 7 и еще более сильное — в 2000–2005 гг. на ППП № 1, 2. На ППП № 7 с 2000 г. идет распад древостоя.

Если сопоставить данные рис. 4–6 и табл. 1, то видно, что сигналом ослабления древостоев является увеличение степени покраснения хвои, а самые активные процессы усыхания происходят в пихтовых древостоях после вспышек РР (ППП № 1, 2, 7).

На рис. 8 приведены данные о среднегодовой температуре воздуха и количестве годовых осадков с 1971 по 2015 г. На рис. 9 приведены значения ГТК 5 во время вегетационного периода (с мая по сентябрь) 1971–2015 гг.

С 1995 по 2014 г. снизилась амплитуда количества годовых осадков, хотя средняя многолетняя сумма осадков остается значительной — 857,8 мм. Величина ГТК в этот период в подавляющем большинстве случаев лет ниже средней многолетней. Это говорит о том, что лето стало теплее и суше.

Анализ погодных условий позволил выявить прямую зависимость процессов усыхания от погодных явлений. Например, в 1990 г. наблюдалось увеличение текущего отпада в Выдринском (р. Аносовка) и Юбилейном (р. Рассоха) лесничествах. В предыдущем году (1989) выпало мало осадков (на 271 мм ниже средней многолетней нормы), а среднегодовая температура воздуха превысила среднюю многолетнюю норму на 0,7 °С. В 1989 г. отмечалось почти самое низкое значение гидротермического коэффициента Селянинова (2,6). В следующем году (1990) наблюдалось увеличение коэффициента водности до 131 % средней многолетней нормы, а гидротермический коэффициент возрос до 5,7. Ливневые дожди июля и августа способствовали

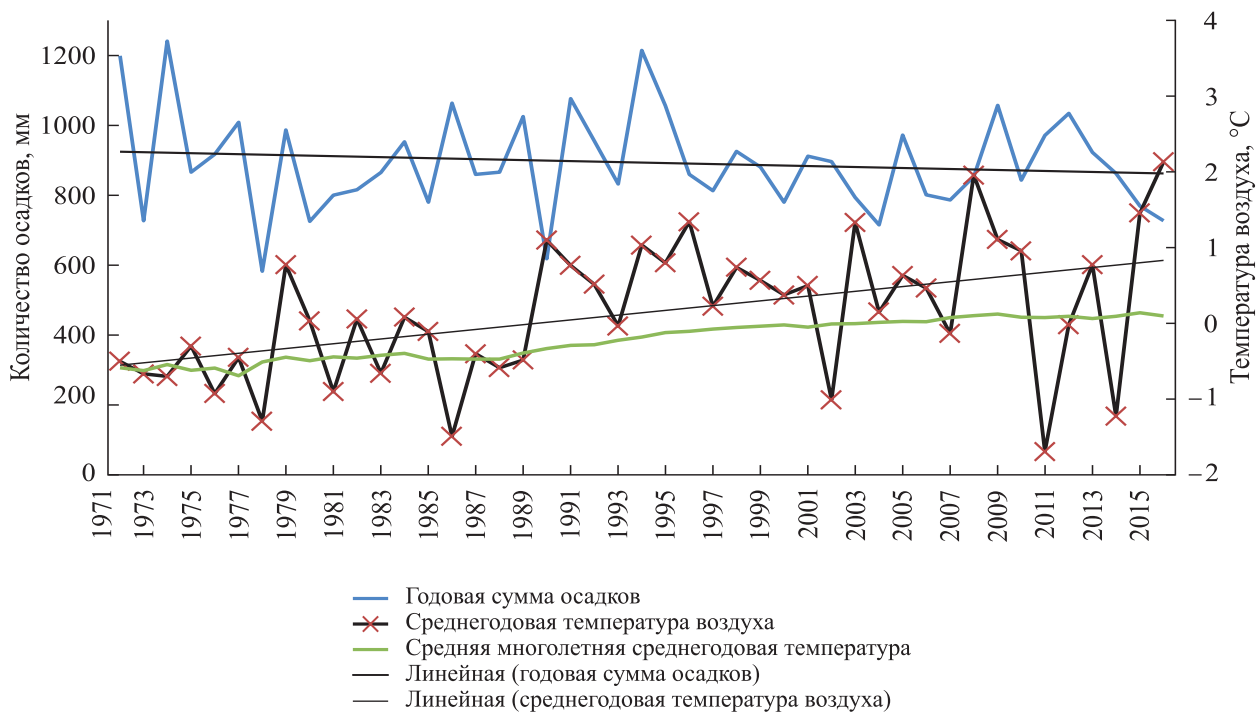


Рис. 8. Динамика среднегодовой температуры воздуха и годовой суммы осадков в 1971–2015 гг. (по данным метеостанции «Танхой»)

Fig. 8. Dynamics of average annual air temperature and annual precipitation in 1971–2015 (according to the weather station «Tanghoi»)

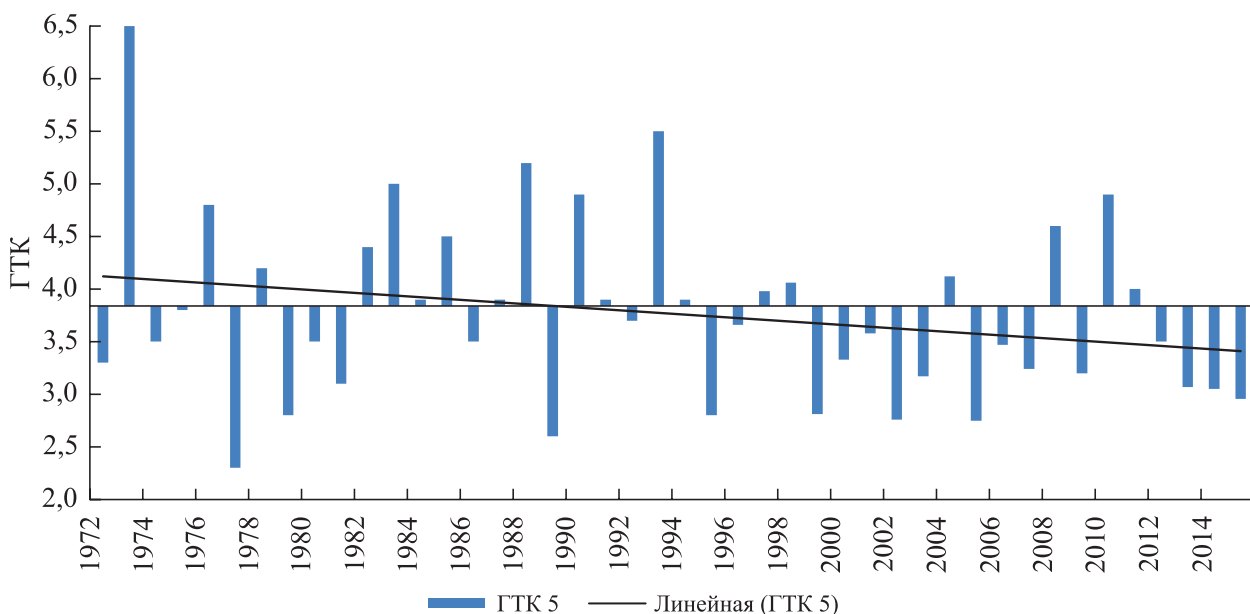


Рис. 9. Гидротермический коэффициент Селянинова в 1972–2015 гг. (по данным метеостанции «Танхой»)

Fig. 9. The hydrothermal Selyaninov coefficient in 1972–2015 (according to the weather station «Tanghoi»)

образованию на склонах оползней и большого количества ветровала.

Повышение численности и активизация жизнедеятельности усачей рода *Monochamus* наблюдалось в 1977–1984 гг. по р. Аносовке Выдринского лесничества, а с 2000 по 2008 г. — по всей территории заповедника. В 1977 г. выпало

самое низкое за годы наблюдений количество осадков (582,5 мм) и был отмечен самый низкий ГТК (2,3). Недостаток влаги ведет к ослаблению устойчивости деревьев, что благоприятствует развитию и размножению стволовых насекомых. В 1879–1981 гг. ГТК также был ниже нормы. В 1983 г. количество годовых осадков немного

превысило среднее многолетнее, летние осадки были обильными (об этом свидетельствует высокий ГТК), что способствовало затуханию вспышки массового размножения (ВМР) усачей рода *Monochamus*. В период следующей ВМР усачей (2000–2007) почти все время, кроме 2004 г. ГТК и годовое количество осадков были ниже нормы. В 2008 г. (во время завершения ВМР усачей рода *Monochamus*) опять наблюдалось превышение средних многолетних ГТК и годового количества осадков. Как видно, погодные условия наряду с биотическими факторами влияют и на возникновение, и на затухание ВМР насекомых. Выявлена положительная корреляционная зависимость между интенсивностью повреждения кроны пихты *Rhizosphaera pini* (Crd.) Maubl. и общим повреждением леса комплексом фитопатогенных грибов. В средней зоне ослабления популяция черного пихтового усача находится в метастабильном состоянии, что способствует повышению численности ризосферы.

В 1990-е гг. в пихтовых древостоях заповедника зарегистрирована вспышка массового размножения пяденицы *Macaria signaria* Нб. В 2008–2009 гг. и 2015 г. отмечено сильное повреждение хвойных деревьев хермесом — тлей рода *Cinara* [13].

Характеристика биологической устойчивости пихтовых древостоев на ППП северного склона хребта Хамар-Дабан Байкальского заповедника представлена в табл. 2.

Как видно из табл. 2, текущий отпад на всех пробных площадях превышает нормальный текущий отпад по данным классам возраста и классам бонитета, особенно на ППП № 6 и 7 (в 2,1 и 3,3 раза соответственно). С учетом этого факта и других показателей, пихтовые древостои на ППП № 1, 2, 6 относят ко II категории (насаждения с нарушенной устойчивостью), а на ППП № 7 — к III категории (насаждения, утратившие жизнеспособность).

## Выводы

В 2000–2015 гг. в пихтовых древостоях заповедника прогрессируют процессы ослабления. Состояние пихтовых древостоев почти на всех пробных площадях является промежуточным между «ослабленным» и «сильно ослабленным». Значительное ухудшение состояния пихт наблюдается в ложбине у верхней границы леса в перестойных насаждениях, подверженных воздействию воздушных промышленных выбросов, а также вдоль туристической тропы. Экскурсионные тропы в заповедниках следует прокладывать настилами или засыпать опилками, щепой.

В перестойных ослабленных насаждениях верхней границы леса наблюдается достаточно стабильное состояние пихт.

За 31 год наблюдений средний диаметр пихты больше всего увеличился у деревьев верхней границы леса (ППП № 6). Влияние на радиальный прирост пихты оказывают угнетение со стороны соседних деревьев и повреждение вершин.

Сильное покраснение хвои наблюдалось на ППП № 2 Выдринского лесничества, ППП № 6 (в 1988 г.) и № 7 (в 2007 г.) Мишихинского лесничества. Покраснение хвои на ветвях пихт связано в основном с широким распространением болезней хвои и ветвей, а также с повреждением ветвей насекомыми.

Ржавчинный рак пихты — важный фактор ослабления и усыхания пихтовых древостоев. После вспышек РР в пихтовых древостоях происходят активные процессы усыхания. Процент деревьев с признаками ржавчинного рака значительно варьируется. Сильные вспышки заболевания РР наблюдались на ППП № 1, 2, 7 соответственно в 1983, 1988, 1992 гг. Доля отпада с признаками РР достигает 28 % количества деревьев и 58,7 % общего количества отпада (ППП № 1).

Массовое усыхание пихты наблюдалось в период 1990–1994/95 гг. на ППП № 2, 6, 7 и в 2000–2005 гг. на ППП № 1, 2. На ППП № 7 с 2000 г. идет распад древостоя.

Пихтовые древостои на ППП № 1, 2, 6 относятся ко II категории, а на ППП № 7 к III категории.

Повышение численности и активизация жизнедеятельности усачей рода *Monochamus* наблюдалось в 1977–1984 гг. по р. Аносовке Выдринского лесничества, в 2000–2008 гг. по всей территории заповедника. Погодные условия наряду с биотическими факторами способствуют как возникновению, так и затуханию вспышек массового размножения насекомых.

Атмосферное загрязнение, перепады увлажнения от избыточного до недостаточного, часто повторяющиеся зимние оттепели привели к ослаблению устойчивости древостоев. Повышение летней температуры и снижение уровня грунтовых вод создали условия, благоприятные для активизации грибковых и бактериальных болезней, очагов насекомых-ксилофагов [14, 15].

*Авторы выражают глубокую благодарность Т.В. Галасьевой, Е.Г. Мозолева, Э.С. Соколовой, И.В. Козырь, всем сотрудникам и студентам МЛТИ, принимавших участие в полевых исследованиях.*



## Список литературы

- [1] Мозолевская Е.Г., Галасьева Т.В., Соколова Э.С. Лесопатологическое обследование Байкальского заповедника. М.: МЛТИ, 1984. 85 с.
- [2] Мозолевская Е.Г., Галасьева Т.В., Соколова Э.С. Лесопатологическое обследование Байкальского заповедника. Заключение. М.: МЛТИ, 1985. 146 с.
- [3] Гаврилец М.Е. Отчет по лесопатологическому обследованию части лесов Байкальского государственного заповедника Главохоты РСФСР. М.: Главохота РСФСР, 1987. 347 с.
- [4] Воронин В.И., Власенко В.В., Ходжер Т.В. Картографическое обеспечение мониторинга лесов, ослабленных аэровыбросами Байкальского ЦБК // Проблемы экологии лесов Прибайкалья / ред. А.С. Плешанов, А.С. Щербатюк. Иркутск: Сиб. отд. АН СССР; Сиб. ин-т физиологии и биохимии растений, 1991. С. 5–21.
- [5] Исаев А.С., Рожков А.С., Киселев В.В. Черный пихтовый усач. Новосибирск: Наука, 1988. 271 с.
- [6] Плешанов А.С., Морозова Т.И. Микромицеты пихты сибирской и атмосферное загрязнение лесов. Новосибирск: Гео, 2009. 116 с.
- [7] Краснобаев В.А. Оценка пригодности метода кондуктометрии для экологического мониторинга // Новые методы в дендрэкологии: Матер. Всерос. науч. конф. Иркутск, СИФИБР СО РАН, 10–13 сентября 2007 г. Иркутск: Институт географии СО РАН, 2007. С. 104–107.
- [8] Алексеев В.А., Шабунин Д.А. Побеговый рак пихты сибирской: описание болезни и методические рекомендации по его полевой диагностике. СПб.: СПБНИИЛХ, 2000. 29 с.
- [9] Воронцов А.И. Патология леса. М.: Лесная пром-сть, 1978. 270 с.
- [10] Мозолевская Е.Г., Галасьева Т.В., Соколова Э.С., Осипов И.Н., Осипова А.С. Организация лесопатологического мониторинга в заповедниках. Пушино: Научный центр биологических исследований АН СССР, 1990. 29 с.
- [11] Мозолевская Е.Г., Катаев О.А., Соколова Э.С. Методы лесопатологического обследования очагов стволовых вредителей и болезней леса. М.: Лесная пром-сть, 1984. 152 с.
- [12] Белова Н.А. Признаки ослабления пихт и величина их прироста по диаметру ствола в древостоях Байкальского заповедника // Изв. Самарского науч. центра РАН, 2010. Т. 12 (33). № 1 (5). С. 1371–1375.
- [13] Белова Н.А., Морозова Т.И. Роль насекомых в ослаблении и усыхании древостоев Байкальского заповедника // Матер. XV Съезда Русского энтомологического общества. Новосибирск, 31 июля – 7 августа 2017 г. Новосибирск: Гарамонд, 2017. С. 52–53.
- [14] Белова Н.А., Морозова Т.И. Динамика состояния кедровых древостоев Байкальского заповедника и сопредельных территорий // Матер. конф. «Мониторинг и биологические методы контроля вредителей и патогенов древесных растений: от теории и практики». Москва, 18–22 апреля 2016 г. М.: Красноярск: Институт лесоведения СО РАН, 2016. С. 27–28.
- [15] Мерзленко М.Д., Мельник П.Г. Лесоводственная экскурсия в леса Клинско-дмитровской гряды М.: МГУЛ, 2002. 93 с.

## Сведения об авторах

**Белова Нина Александровна** — канд. биол. наук, старший научный сотрудник, ФГБУ «Байкальский государственный природный биосферный заповедник», [baikaln@gmail.ru](mailto:baikaln@gmail.ru)

**Морозова Татьяна Иннокентьевна** — канд. биол. наук, заместитель заведующего отделом карантина растений ФГБУ «Иркутская межобластная ветеринарная лаборатория», [ti.morozova@mail.ru](mailto:ti.morozova@mail.ru)

Поступила в редакцию 30.10.2017.

Принята к публикации 15.01.2017.

## DYNAMICS OF FOREST PATHOLOGY CONDITION OF FIR STANDS OF THE BAIKAL NATURE RESERVE (1983–2015)

N.A. Belova<sup>1</sup>, T.I. Morozova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Baikalsky State Nature Biosphere Reserve, Krasnogvardeiskaya st., 34, pos. Tankhoi, Kabansky district, Republic of Buryatia, Russia, 671220

<sup>2</sup>Irkutsk Interregional Veterinary Laboratory, Botkina st., 4, Irkutsk, Russia, 664005

baikalnr@mail.ru

The article analyzes the changes in the forest pathological condition of the fir plantations of the Baikal Reserve that occurred in 1983–2015. Based on the series of data on the state of trees on permanent test areas (hereinafter referred to as PTA) in typical forest stands of the reserve, dynamics diagrams of the parameters of the fir trees state are made. It includes the middle category of the state; average diameter; the proportion of living trees; average redness of needles; the proportion of fir affected by fir broom rust (*Melampsorella caryophyllacearum*); current mortality. The average category of the fir stands condition in almost all test areas is in the interval between «weakened» and «greatly weakened». A strong deterioration in the state of fir is observed in the hollow near the upper border of the forest, as well as along the hiking trail. In the overmature weakened stand of the upper border of the forest, a fairly stable state of fir is observed. Neighboring trees and damaged treetops have a depressing effect on the radial increment of fir. The proportion of living trees in almost all test areas decreased. A strong reddening of fir needles was observed in 1988 and 2007. After fir broom rust outbreaks, active processes of desiccation take place in the forest stands. The proportion of mortality with its signs reaches 28 % of the number of trees in the test area. Mass desiccation of fir was observed over the period of 1990–1994/95 and 2000–2005. Analysis of weather data has made it possible to determine the direct dependence of drying processes on weather phenomena. Weather conditions, along with biotic factors, both contribute to the emergence and damping of outbreaks of mass reproduction of insects. Fir stands of the Baikal Reserve belong to category II of the forest pathological state — plantings with impaired stability and sometimes to III — lost vitality.

**Keywords:** Baikal reserve, fir, dynamics, state, current mortality

**Suggested citation:** Belova N.A., Morozova T.I. *Dinamika lesopatologicheskogo sostoyaniya pikhtovykh drevostoev Baykal'skogo zapovednika* (1983–2015) [Dynamics of forest pathology condition of fir stands of the Baikal Nature Reserve (1983–2015)]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 2, pp. 5–15. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-2-5-15

### References

- [1] Mozolevskaya E.G., Galas'eva T.V., Sokolova E.S. *Lesopatologicheskoe obsledovanie Baykal'skogo zapovednika* [Forest Pathology research in the Baikal Nature Reserve.]. Moscow: MLTI, 1984, 85 p.
- [2] Galas'eva T.V., Mozolevskaya E.G., Sokolova E.S. *Lesopatologicheskoe obsledovanie Baykal'skogo zapovednika. Zaklyuchenie* [Forest Pathology research in the Baikal Nature Reserve. Conclusion]. Moscow: MLTI, 1985, 146 p.
- [3] Gavrilents M.E. *Otchet po lesopatologicheskomu obsledovaniyu chasti lesov Baykal'skogo gosudarstvennogo zapovednika Glavokhoty RSFSR* [Report on forest pathology inspection forest of the Baikal State Reserve of the RSFSR]. Moscow: Glavokhota, 1987, 347 p.
- [4] Voronin V.I., Vlasenko V.V., Khodzher T.V. *Kartograficheskoe obespechenie monitoringa lesov, oslablennykh aerovybrosami Baykal'skogo TsBK* [Cartographic support of forest monitoring, weakened aerobase Baikal pulp and paper mill]. *Problemy ekologii lesov Pribaykal'ya* [Problems of ecology of forests of Baikal region]. Irkutsk, Siberian Branch of the USSR, 1991, pp. 5–21.
- [5] Isaev A.S., Rozhkov A.S., Kiselev V.V. *Chernyy pikhtovy usach* [Fir Black moustache]. Novosibirsk: Nauka Publ., 1988, 271 p.
- [6] Pleshanov A.S., Morozova T.I. *Mikromitsety pikhty sibirskoy i atmosferno zagryaznenie lesov* [Siberian fir Micromycetes and air pollution forests]. Novosibirsk: Geo Publ., 2009, 116 p.
- [7] Krasnobaev V.A. *Otsenka prigodnosti metoda konduktometrii dlya ekologicheskogo monitoringa* [To assess the suitability of the method of conductometry for environmental monitoring]. *Novye metody v dendroekologii* [New methods in dendroecology]. Irkutsk: IG SO RAN Publ., 2007, pp. 104–107.
- [8] Alekseev V.A., Shabunin D.A. *Pobegovyy rak pikhty sibirskoy* [Escape cancer of Siberian fir]. *Opisanie bolezni i metodicheskie rekomendatsii po ego polevoy diagnostike* [The description of the disease and methodological recommendations for field diagnostics]. SPb: SPb NIILKh Publ., 2000, 29 p.
- [9] Vorontsov A.I. *Patologiya lesa* [Forest pathology]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' Publ., 1978, 270 p.
- [10] Mozolevskaya E.G., Galas'eva T.V., Sokolova E.S., Osipov I.N., Osipova A.S. *Metody lesopatologicheskogo obsledovaniya monitoringa v zapovednikakh* [Methods survey of forest pathology monitoring in the reserves]. Pushchino: The Scientific Center for Biological Research of the USSR Academy of Sciences Publ., 1990, 29 p.
- [11] Mozolevskaya E.G., Kataev O.A., Sokolova E.S. *Metody lesopatologicheskogo obsledovaniya ochagov stvolovykh vrediteley i bolezney lesa* [Methods of forest pathology examination of foci of stem pests and forest disease]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' Publ., 1984, 152 p.
- [12] Belova N.A. *Priznaki oslableniya pikht i velichina ikh prirosta po diametru stvola v drevostoyakh Baykal'skogo zapovednika* [Signs of weakening of the fir and the magnitude of their increase in diameter of a trunk in the forest of the Baikal Nature Reserve]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*. [Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2010, v. 12 (33), no. 1 (5), pp. 1371–1375.

- [13] Belova N.A., Morozova T.I. *Rol' nasekomykh v oslablenii i usykhanii drevostoev Baykal'skogo zapovednika* [The role of insects in the weakening and drying of the forest of the Baikal Reserve]. Mater. XV S'ezda Russkogo entomologicheskogo obshchestva [Proc. XV Congress of the Russian Entomological Society]. Novosibirsk, July 31 – August 07, 2017. Novosibirsk: Garamond, 2017, pp. 52–53.
- [14] Belova N.A., Morozova T.I. *Dinamika sostoyaniya kedrovyykh drevostoev Baykal'skogo zapovednika i sopredel'nykh territoriy* [Dynamics of condition of pine stands of the Baikal Nature Reserve and adjacent areas]. Mater. konf. «Monitoring i biologicheskie metody kontrolya vreditel'ey i patogenov drevesnykh rasteniy: ot teorii i praktike». Moskva, 18–22 aprelya 2016 [Monitoring and biological methods to control pests and pathogens of woody plants: from theory and practice. Moscow, April 18–22, 2016]. Krasnoyarsk: IL SO RAN Publ., 2016, pp. 27–28.
- [15] Merzlenko M.D., Mel'nik P.G. *Lesovodstvennaya ekskursiya v lesa Klinско-dmitrovskoy gryady* [A forest excursion to the forests of the Klin-Dmitrov ridge]. Moscow: MGUL, 2002. 93 p.

## Authors' information

**Belova Nina Alexandrovna** — Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher of Baikal State Nature Biosphere Reserve, [baikalnr@mail.ru](mailto:baikalnr@mail.ru)

**Morozova Tat'ana Innokent'evna** — Cand. Sci. (Biol.), Deputy Head of the Department of Plant Quarantine of Irkutsk Interregional Veterinary Laboratory, [ti.morozova@mail.ru](mailto:ti.morozova@mail.ru)

Received 30.10.2017.

Accepted for publication 15.10.2017.

## ВИДОВОЕ И СТРУКТУРНОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ЛЕСНЫХ ОРНИТОЦЕНОЗОВ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ НА ПРИМЕРЕ РОССИЙСКОГО ПРИИШИМЬЯ

С.Л. Болдырев

Ишимский педагогический институт имени П.П. Ершова (филиал ФГБОУ ВО «Тюменский государственный университет»), 627750, г. Ишим, ул. Ленина, д. 1

boldyrev.stepan@yandex.ru

Приводятся результаты учета птиц, проведенного в 2015–2016 гг. в лесных орнитоценозах Российского Приишимья. Отмечено 189 видов птиц из 10 отрядов, 37 семейств и 87 родов. Наибольшее число видов (114) наблюдалось в подзоне северной лесостепи, наименьшее (91) — в подзоне средней лесостепи. Самыми низкими значениями показателей обилия и среднего числа видов характеризуются лесные местообитания подтаежной зоны, что можно объяснить антропогенной трансформацией лесных биотопов, ведущей к сокращению площади и обеднению видового состава лесной растительности, увеличению количества полуоткрытых и открытых биотопов, характерных для более южных подзон. Наибольшими значениями индексов видового богатства и видового разнообразия характеризуются орнитоценозы северной лесостепи, несмотря на понижение их значений в выборке 2016 г. по сравнению с 2015 г. Наиболее значимое понижение индексов видового богатства и видового разнообразия отмечено в орнитоценозах березовых колков средней лесостепи. Результаты анализа распределения индексов Шеннона и Симпсона позволяют считать, что указанное снижение видового разнообразия произошло за счет сокращения числа редких видов и сохранения фоновых видов на уровне 2015 г. В лесных орнитоценозах выявлено малое количество доминантных видов. В большинстве исследуемых местообитаний доминантами являются *Parus montanus*, *Fringilla coelebs*, *Anthus trivialis*. К фоновым видам относятся 40 видов птиц, их суммарный вклад в население исследованных орнитоценозов составляет в среднем 68 %, что указывает на достаточное высокое разнообразие исследуемых местообитаний в целом. Основу исследованных лесных орнитоценозов составляют виды европейского типа фауны, неморального фаунистического комплекса.

**Ключевые слова:** биоразнообразие, Российское Приишимье, лесные орнитоценозы, плотность населения, фауногенетическая структура

**Ссылка для цитирования:** Болдырев С.Л. Видовое и структурное разнообразие лесных орнитоценозов Западной Сибири на примере Российского Приишимья // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 2. С. 16–27. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-2-16-27

Изучение и охрана биологического разнообразия — один из важнейших вопросов, регулируемых на международном уровне. Инвентаризация биотических компонентов экосистем и определение структурных особенностей природных биомов остаются фундаментальными направлениями современных экологических и биогеографических исследований. При этом анализируются фаунистические списки и соотношения видов по численности, биомассе другим параметрам [1].

В 1992 г. в г. Рио-де-Жанейро, Бразилия, на Конференции ООН по окружающей среде и развитию была принята Конвенция ООН о биологическом разнообразии, которую Российская Федерация подписала и ратифицировала в 1995 г. На Всемирном саммите по устойчивому развитию в г. Йоханнесбурге, ЮАР (2002), говорилось о прекращении утраты биоразнообразия в глобальном масштабе. Согласно Федеральному закону от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды», обеспечение благоприятного состо-

яния окружающей среды является необходимым условием улучшения качества жизни и здоровья населения, рациональное природопользование должно обеспечить равноправный доступ к природным ресурсам ныне живущих и будущих поколений людей. Для достижения поставленной цели в процессе реализации «Концепции долгосрочного социально-экономического развития Тюменской области до 2020 года и на перспективу до 2030 года» (распоряжение Правительства Тюменской области от 25 мая 2009 г. № 652-рп) намечается решение основных задач — сохранения биологического и ландшафтного разнообразия и развития системы экологического мониторинга окружающей среды.

### Цель работы

Исследование современного состояния орнитофауны Приишимья и выявление общих закономерностей ее формирования возможно через регулярный мониторинг видового состава и относительного обилия разных видов. В ходе мони-



торинга орнитоценозов можно выделить ценные в зоологическом отношении участки и сконцентрировать внимание на охране этих территорий и населяющих их фаунистических комплексов. Отсутствие мониторинга и, как следствие, отсутствие развития зоографического районирования сдерживает развитие как фундаментальных, так и прикладных орнитологических исследований на территории Приишимья. Основной целью данной работы явилось изучение видового состава и структуры населения птиц лесных местообитаний разных природных зон и подзон на территории Российского Приишимья.

## Материалы и методы исследования

Учет птиц проводили во все сезоны, в период с 2015 по 2016 г. на территории семи районов юга Тюменской области (Абатский, Бердюжский, Видуловский, Ишимский, Казанский, Сладковский, Сорокинский районы) и Усть-Ишимского района Омской области, расположенных в водосборных и на водораздельных территориях реки Ишим и его притоков. Для проведения работы было заложено 28 маршрутных трансектов.

В качестве наименьшей единицы рассмотрения приняли население птиц ландшафтного урочища, выделяемого типологически [2]. Выделено 11 типов лесных урочищ: сосновые леса (СЛ); березовые колки (БК); березовые колки на склонах (БК1); березово-осиновые леса (БОЛ); березово-осиновые колки (БОК); заболоченные осиново-березовые леса (БОЛ1); разреженные березовые колки (БК2); березово-осиновые леса с перелесками (БОЛ2); березовые колки на возвышенностях (БК3); осиново-березовые леса (ОБЛ); пойменные леса (ПЛ).

Для наблюдений использован метод учета без ограничения ширины трансекта с последующим пересчетом на площадь по дальностям обнаружения интервальным методом [3] в модификации С.Н. Гашева [4]. Для птиц, отмеченных летящими, внесены поправки на среднюю скорость их перемещения [4]. В рамках стандартов применения методики Ю.С. Равкина [3, 5–8] в каждом из изучаемых типов местообитания закладывали постоянный маршрут длиной 3,1...4,0 км, на котором учет выполняли трижды в каждый из сезонов; затем результаты трехкратного учета усредняли. Для зимних учетов закладка в пределах одного местообитания маршрута была увеличена и составляла не менее 5 км. Маршруты закладывали внутри однородных биотопов. В то же время при очень плотном однородном чередовании открытых пространств и небольших перелесков их рассматривали как единое «комплексное» местообитание, где возможен непрерывный учет на

одном маршруте. Редких птиц, не попавших в основной учет, фиксировали дополнительно во время переходов к месту учета и обратно, а также при посещении этих местообитаний во внеучетное время.

При описании обилия и распределения видов применяли шкалу балльных оценок обилия птиц, предложенную А.П. Кузякиным [9]. Доминантами по обилию, биомассе, энергетике считали виды, участие которых в населении птиц по суммарным показателям составляет 10 % и более. Лидерами считали несколько видов (обычно пять), обладающих наибольшими показателями обилия. Вид считали фоновым, если показатель его обилия — не менее одной особи на 1 км<sup>2</sup>.

Для расчета показателей биомассы использовали данные, приведенные в справочнике-определителе В.К. Рябицева [10].

Для выявления структурных особенностей орнитофауны на исследуемых участках использовали ряд индексов  $\alpha$ -разнообразия. Одним из основных компонентов видовой структуры сообщества птиц является видовое богатство, или плотность видов,

$$R = \frac{V - 1}{\lg N},$$

где  $V$  — число видов,

$N$  — общее число особей.

Второй важный показатель — видовое разнообразие — представлен двумя индексами:

1) индекс видового разнообразия Симпсона:

$$D = 1 - \left( \frac{n_i}{N} \right)^2,$$

где  $n_i$  — оценка значимости каждого вида (численность (в этом случае  $n_i = W_i$ ), биомасса и др.);

$N$  — сумма оценок значимости;

2) индекса видового разнообразия Шеннона:

$$H = - \frac{n_i}{N} \lg \frac{n_i}{N}.$$

Из этих двух обобщенных индексов индекс Симпсона придает больший вес обычным видам (поскольку при возведении в квадрат малых отношений  $n_i/N$  получаются очень малые величины). Индекс Шеннона придает больший вес редким видам [11]. Поделив индекс Шеннона на логарифм числа видов, получаем индекс выравненности Пиелу  $E$ , показывающий относительное распределение особей среди видов:

$$E = \frac{H}{\lg V}.$$

С предыдущим показателем связан и обратно пропорционален ему индекс доминирования Симпсона:

$$C = \left( \frac{n_i}{N} \right)^2.$$

Одним из наиболее часто применяемых критериев является устойчивость экологических систем, определяемая через различные функциональные характеристики [11–15]. Этот показатель рассматривали как одну из характеристик экосистемы, отражающих ее способность сохранять прежнее состояние под действием тех или иных факторов (резистентная устойчивость) или возвращаться в исходное состояние после снятия действия этих факторов (упругая устойчивость). Для расчета общей устойчивости экосистем  $U$  использовали суммарный показатель упругой устойчивости  $U_u$  и резистентной устойчивости  $U_r$  [11].

Видовые названия птиц приводятся по Л.С. Степаняну [16]. Обработка материалов и все основные расчеты проведены с использованием программ «Рабочее место орнитолога» [17].

За время проведения учета отмечено 189 видов птиц из 10 отрядов (*Ciconiiformes*, *Columbiforme*, *Coraciiformes*, *Cuculiformes*, *Falconiformes*, *Galliformes*, *Gruiformes*, *Passeriformes*, *Piciformes*, *Strigiformes*), 34 семейств (*Accipitridae*, *Acrocephalidae*, *Aegithalidae*, *Alaudidae*, *Alcedinidae*, *Ardeidae*, *Certhiidae*, *Columbidae*, *Corvidae*, *Cuculidae*, *Emberizidae*, *Falconidae*, *Fringillidae*, *Hirundinidae*, *Laniidae*, *Locustellidae*, *Motacillidae*, *Muscicapidae*, *Oriolidae*, *Panuridae*, *Paridae*, *Passeridae*, *Phalacrocoracidae*, *Phasianidae*, *Phylloscopidae*, *Picidae*, *Prunellidae*, *Rallidae*, *Regulidae*, *Sittidae*, *Strigidae*, *Sturnidae*, *Sylviidae*, *Turdidae*), 82 родов (*Acanthis*, *Accipiter*, *Acrocephalus*, *Aegithalos*, *Alauda*, *Alcedo*, *Anthus*, *Aquila*, *Ardea*, *Asio*, *Botaurus*, *Buteo*, *Calcarius*, *Cannabina*, *Carduelis*, *Carpodacus*, *Certhia*, *Chloris*, *Circus*, *Coccothraustes*, *Columba*, *Columba*, *Corvus*, *Coturnix*, *Cractes*, *Crex*, *Cuculus*, *Dendroccopos*, *Dendrocopos*, *Egretta*, *Emberiza*, *Eremophila*, *Erithacus*, *Falco*, *Fringilla*, *Fulica*, *Garrulus*, *Grus*, *Haliaeetus*, *Hippolais*, *Hirundo*, *Jynx*, *Lanius*, *Locustella*, *Luscinia*, *Lyrurus*, *Milvus*, *Motacilla*, *Muscicapa*, *Oenanthe*, *Orirlus*, *Panurus*, *Parus*, *Passer*, *Perdix*, *Pernis*, *Phalacrocorax*, *Phoenicurus*, *Phylloscopus*, *Pica*, *Picus*, *Pinicola*, *Plectrophenax*, *Porzana*, *Prunella*, *Purrrhula*, *Pyrrhula*, *Rallus*, *Regulus*, *Remiz*, *Riparia*, *Saxicola*, *Sitta*, *Spinus*, *Streptopelia*, *Strix*, *Sturnus*, *Surnia*, *Sylvia*, *Tetrastes*, *Turdus*, *Uragus*).

При проведении анализа на предмет состава орнитоценозов на исследуемых участках установлено, что наибольшим видовым разнообразием отличаются березово-осиновые леса,

орнитофауне которых выявлен 51 вид. Наиболее типичные виды для данного биотопа: *Acanthis flammea*, *Acrocephalus dumetorum*, *Anthus hodgsoni*, *Anthus trivialis*, *Cannabina cannabina*, *Certhia familiaris*, *Chloris chloris*, *Dendrocopos leucotos*, *Dendrocopos major*, *Emberiza citrinella*, *Fringilla coelebs*, *Fringilla montifringilla*, *Gallinago media*, *Hippolais caligata*, *Muscicapa striata*, *Parus caeruleus*, *Parus cyanus*, *Parus major*, *Parus montanus*, *Phoenicurus phoenicurus*, *Phylloscopus collybita*, *Phylloscopus trochilus*, *Prunella modularis*, *Pyrrhula pyrrhula*, *Sitta europaea*, *Sylvia atricapilla*, *Sylvia borin*, *Sylvia communis*, *Tetrastes bonasia*, *Turdus pilaris*. На втором месте стоят сосновые леса (боры, южнотаежные и подтаежные сосновые леса), орнитофауна которых включает 47 видов птиц. Наиболее типичные виды для данного биотопа: *Anthus hodgsoni*, *Anthus trivialis*, *Certhia familiaris*, *Dendrocopos major*, *Emberiza citrinella*, *Erithacus rubecula*, *Fringilla coelebs*, *Fringilla montifringilla*, *Hippolais caligata*, *Jynx torquilla*, *Muscicapa hypoleuca*, *Parus cyanus*, *Parus major*, *Parus montanus*, *Phoenicurus ochruros*, *Phoenicurus phoenicurus*, *Phylloscopus collybita*, *Phylloscopus sibilator*, *Phylloscopus trochilus*, *Regulus regulus*, *Sitta europaea*, *Spinus spinus*, *Streptopelia orientalis*, *Sylvia atricapilla*. На третьем месте березово-осиновые колки с 45 видами. Наиболее типичные виды для данного биотопа: *Acanthis flammea*, *Acrocephalus dumetorum*, *Anthus campestris*, *Anthus hodgsoni*, *Anthus trivialis*, *Certhia familiaris*, *Dendrocopos leucotos*, *Emberiza citrinella*, *Emberiza schoeniclus*, *Erithacus rubecula*, *Falco tinnunculus*, *Fringilla coelebs*, *Fringilla montifringilla*, *Hippolais caligata*, *Jynx torquilla*, *Parus caeruleus*, *Parus cyanus*, *Parus major*, *Parus montanus*, *Phoenicurus phoenicurus*, *Phylloscopus collybita*, *Phylloscopus trochilus*, *Sylvia atricapilla*, *Sylvia borin*, *Tetrastes bonasia*, *Uragus sibiricus*. На четвертом месте березовые колки с различными вариациями (березовые колки, березовые колки на склонах, березово-осиновые колки, разреженные березовые колки, березовые колки на возвышенностях). В общей сложности в биотопах данной группы обитают 27 видов птиц, наиболее типичные виды для данного биотопа: *Acrocephalus dumetorum*, *Anthus trivialis*, *Cannabina cannabina*, *Certhia familiaris*, *Emberiza citrinella*, *Emberiza schoeniclus*, *Fringilla coelebs*, *Hippolais caligata*, *Parus major*, *Parus montanus*, *Phoenicurus phoenicurus*, *Phylloscopus collybita*, *Phylloscopus trochilus*, *Prunella modularis*, *Sylvia atricapilla*, *Sylvia curruca*. На пятом месте осиново-березовые колки, в которых зарегистрировано 17 видов. Наиболее типичные виды для данного биотопа: *Anthus hodgsoni*, *Anthus trivialis*, *Certhia familiaris*, *Fringilla coelebs*, *Hippolais caligata*, *Hippolais icterina*, *Parus montanus*, *Pyrrhula pyrrhula*.

На шестом месте пойменные леса, в которых зарегистрировано 14 видов. Наиболее типичные виды для данного биотопа: *Hippolais caligata*, *Parus cyaneus*, *Parus montanus*, *Scolopax rusticola*.

При проведении анализа на предмет состава орнитоценозов в зависимости от природных зон на первом месте по количеству видов, находится подзона подтайги с 114 видами из 63 родов 26 семейств, пяти отрядов. Наиболее представительный отряд — *Passeriformes*, объединяющий 21 семейство, 43 рода, 85 видов. Остальные отряды (*Columbiformes*, *Cuculiformes*, *Falconiformes*, *Galliformes*, *Strigiformes*) объединяют 29 видов и представлены каждый одним семейством.

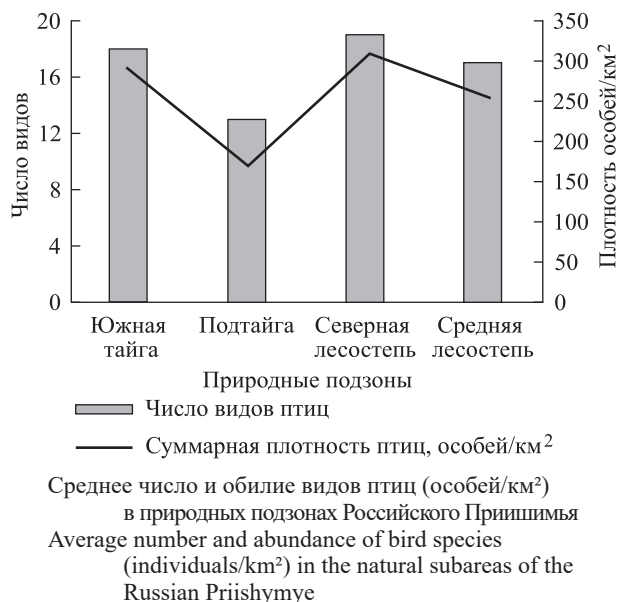
На втором месте подзона северной лесостепи, включающая 112 видов из 62 родов, 28 семейств, 8 отрядов. Наиболее разнообразным является отряд *Passeriformes*, который представлен 20 семействами, 44 родами и 88 видами. На втором месте отряд *Falconiformes*, представленный двумя семействами, шестью родами и 11 видами. Остальные отряды (*Piciformes*, *Strigiformes*, *Columbiformes*, *Cuculiformes*, *Galliformes*) включают по одному семейству и в целом объединяют 13 видов.

На третьем месте подзона южной тайги, в которой отмечено 99 видов из 52 родов, 23 семейств, 4 отрядов. На первом месте по числу представителей находится отряд *Passeriformes*, включающий 17 семейств, 27 родов, 65 видов. Остальные три отряда (*Strigiformes*, *Columbiformes*, *Galliformes*) представлены по одному семейству каждый и объединяют 34 вида.

Самым бедным видовым составом характеризуется подзона средней лесостепи, которая объединяет 91 вид из 50 родов, 24 семейств, 6 отрядов. Как и во всех остальных зонах, на первом месте по числу представителей находится отряд *Passeriformes*, включающий представителей 19 семейств, 43 родов и 81 вида. Остальные отряды (*Columbiformes*, *Cuculiformes*, *Falconiformes*, *Galliformes*, *Piciformes*, *Strigiformes*) представлены одним семейством и объединяют 10 видов.

Наибольшее количество отрядов птиц отмечено в зоне лесостепи, в более высоких подзонах происходит сокращение числа отрядов. Наиболее разнообразный видовой состав отмечен в пограничных зонах между лесостепными и бореальными ландшафтами (см. рисунок).

**Видовое разнообразие сообществ птиц.** Для всех исследованных биотопов на территории Российского Приишмья наблюдается сокращение индексов разнообразия, доминирования и устойчивости в 2016 г. по отношению к показателям 2015 г. Самое заметное сокращение индексов  $R$ ,  $H$ ,  $D$ ,  $C$ ,  $E$ ,  $U_r$ ,  $U_w$ ,  $U$  происходит в березовых колках и разреженных березовых колках. Данные



местообитания сосредоточены в основном на территории средней лесостепи (табл. 1). Наряду с общей тенденцией к сокращению показателей индексов биоразнообразия в местообитаниях БОК и БОЛ происходит небольшое увеличение показателей  $R$ ,  $H$ ,  $D$ ,  $C$ . При рассмотрении индексов Шеннона и Симпсона прослеживается снижение видового разнообразия. Это вызвано значительным сокращением численности редких видов и несколько меньшим сокращением численности фоновых видов. Увеличение индексов в местообитаниях БОК и БОЛ связано с возрастанием доли редких видов при относительной сохранности доли фоновых. При рассмотрении зонально-подзонального спектра видно (см. рисунок), что число видов и их плотность возрастают на промежутке от бореальной зоны к лесостепной и снижаются в подзоне подтайги (171,2 особей/км<sup>2</sup>). Данный факт можно объяснить увеличением нагрузки на подтаежные лесные биотопы [18], а также ландшафтно-экологическими особенностями исследованных местообитаний.

## Результаты и обсуждение

**Структура населения птиц по относительному обилию видов.** По усредненным данным за два года исследования, в населении птиц южной тайги доминирует *Parus montanus* с процентной долей общего населения 20,3 %, в подзоне подтайги — *Parus montanus* (22,7 %), в подзоне северной лесостепи — *Parus montanus* (20,7 %) и *Fringilla coelebs* (10,81 %); в подзоне средней лесостепи — *Parus montanus* (26,72 %) (табл. 2).

При рассмотрении полученных данных в градиенте приуроченности исследуемых биотопов к природным зонам становятся заметными структурные изменения в населении птиц за счет уменьшения доли (с 54,78 до 19,19 %) и суммарного обилия (с 14,86 до 31,5 %) видов-доминантов



Т а б л и ц а 1

Показатели структуры сообществ птиц в основных местообитаниях  
Indicators of the structure of bird communities in major habitats

Тип местообитания	Показатель							
	<i>R</i>	<i>H</i>	<i>D</i>	<i>C</i>	<i>E</i>	<i>U<sub>r</sub></i>	<i>U<sub>u</sub></i>	<i>U</i>
2015 г.								
БОЛ2	27,41	3,39	0,75	0,25	0,86	0,92	6,91	7,83
БК	19,54	3,13	1,36	1,49	0,84	1,49	6,42	12,63
БОК	27,05	5,31	1,40	1,19	1,24	1,36	5,66	6,34
БОЛ	22,65	3,70	0,89	0,29	0,93	1,12	7,52	8,56
БК3	16,24	3,52	0,66	0,34	1,05	0,87	4,20	5,07
ОБЛ	24,69	2,81	0,96	0,04	0,69	1,12	11,0	12,12
ПЛ	39,04	4,55	0,96	0,04	0,90	1,00	9,17	12,17
БК2	19,01	5,52	0,21	0,21	1,06	0,77	1,34	2,76
БК1	23,52	4,17	0,79	0,21	1,03	0,92	6,00	6,92
СЛ	29,35	3,63	0,90	0,05	0,79	2,44	7,02	7,59
БОЛ1	33,36	6,29	0,77	0,23	1,24	0,84	5,37	6,21
2016 г.								
БОЛ2	20,68	3,10	0,90	0,10	0,87	1,09	8,56	9,64
БК	2,58	0,39	1,11	1,01	0,71	1,14	5,07	11,21
БОК	27,75	6,61	1,61	1,79	1,47	1,77	6,03	6,60
БОЛ	24,53	4,04	0,91	0,41	0,96	1,05	7,20	8,39
БК3	16,33	3,78	0,70	0,30	1,13	0,87	3,70	4,58
ОБЛ	17,31	2,02	0,97	0,03	0,58	1,22	11,24	12,46
ПЛ	30,29	4,98	0,86	0,14	1,03	0,93	7,48	8,41
БК2	7,57	1,24	0,22	0,03	0,86	0,23	1,87	2,10
БК1	27,7	5,28	0,57	0,43	1,19	0,66	5,64	6,30
СЛ	28,07	3,77	0,93	0,07	0,84	2,81	6,97	7,40
БОЛ1	23,72	4,81	0,80	0,20	1,15	0,93	6,07	7,00

*Примечание.* Местообитания: СЛ — сосновые леса; БК — березовые колки; БК1 — березовые колки на склонах; БОЛ — березово-осиновые леса; БОК — березово-осиновые колки; БОЛ1 — заболоченные осиново-березовые леса; БК2 — разреженные березовые колки; БОЛ2 — березово-осиновые леса с перелесками; БК3 — березовые колки на возвышенностях; ОБЛ — осиново-березовые леса, ПЛ — уремы. Индексы биоразнообразия и устойчивости: *R* — индекс видового богатства; *H* — индекс видового разнообразия Шеннона; *D* — индекс видового разнообразия Симпсона; *C* — индекс доминирования Симпсона; *E* — индекс выровненности Пиелу; *U<sub>r</sub>* — резистентная устойчивость сообщества; *U<sub>u</sub>* — упругая устойчивость сообщества; *U* — общая устойчивость сообщества.

и их перераспределения в пространстве (табл. 3). Так, обилие *Parus montanus* в населении птиц южной тайги по сравнению со средней лесостепью уменьшилось на 30 %. Однако внутри подзон средние значения долей видов-доминантов подвержены незначительным колебаниям.

При рассмотрении структуры орнитосообществ в биотопическом спектре видно, что структура сообществ во всех биотопах представлена небольшим количеством доминантов. Наибольшим количеством видов-доминантов отличаются местообитания березово-осиновых лесов южной тайги: *Anthus trivialis* (11,89 %), *Fringilla coelebs* (10,67 %), *Parus cyanus* (13,34 %) и *Parus montanus* (18,89 %). В аналогичных местообитаниях северной лесостепи к доминирующим относится только один вид — *Parus montanus* (23,49 %). Во всех остальных местообитаниях *Parus montanus* остается в числе доминантных видов. На втором месте по доминированию в местообитаниях идет *Fringilla coelebs* (4 местообитания), на третьем месте *Anthus trivialis* (3 местообитания): сосновый лес (южная тайга) — *Parus montanus* (22,5 %), сосновый лес, северная лесостепь — *Parus montanus* (23,49 %), *Anthus trivialis* (10,69 %); березо-

во-осиновые леса, северная лесостепь — *Parus montanus* (23,49 %), *Anthus trivialis* (10,69 %); березово-осиновые колки подтайги — *Parus montanus* (19,91 %), *Fringilla coelebs* (8,62 %); березово-осиновые колки, северная лесостепь — *Parus montanus* (32,05 %); березовые колки на склонах подтайги — *Parus montanus* (17,87 %), *Fringilla coelebs* (10,26 %); пойменные леса и уремы — *Parus montanus* (19,04 %), *Anthus trivialis* (11,29 %); осиново-березовые леса подтайги — *Parus montanus* (18,06 %), *Fringilla coelebs* (10,81 %); березовые колки на возвышенностях подтайги — *Parus montanus* (34,78 %); заболоченные осиново-березовые леса, северная лесостепь — *Parus montanus* (21,41 %), *Fringilla coelebs* (18,9 %); березовые колки, средняя лесостепь — *Parus montanus* (26,38 %); разреженные березовые колки, средняя лесостепь — *Parus montanus* (24,15 %), *Carduelis carduelis* (14,36 %). И только в одном исследуемом местообитании *Parus montanus*, *Fringilla coelebs* и *Anthus trivialis* не входят в число доминантных видов. Это березово-осиновые леса с перелесками, северная лесостепь (*Parus cyanus* — 16,06 %, *Phylloscopus trochilus* — 15,05 %, *Phylloscopus trochiloides* — 12,04 %) (табл. 3).



Т а б л и ц а 2

## Плотность некоторых видов птиц в местообитаниях Российского Приишмыя

*N* — обилие, особей/км<sup>2</sup>, *D* — доля в общем населении, %

The density of some bird species in habitats of the Russian Priishymye

*N* — the abundance (individuals/km<sup>2</sup>), *D* — the share in total population (%)

Вид	Южная тайга		Подтайга		Северная лесостепь		Средняя лесостепь	
	<i>N</i>	<i>D</i>	<i>N</i>	<i>D</i>	<i>N</i>	<i>D</i>	<i>N</i>	<i>D</i>
<i>Acanthis flammea</i>	11,14	3,55	3,66	1,55	0,73	0,61	0,00	0,00
<i>Accipiter nisus</i>	0,24	0,08	0,43	0,18	0,12	0,10	0,27	0,14
<i>Acrocephalus dumetorum</i>	2,29	0,73	2,02	0,86	2,42	2,01	5,11	2,69
<i>Aegithalos caudatus</i>	4,62	1,47	1,54	0,65	1,66	1,38	0,94	0,49
<i>Anthus hodgsoni</i>	2,86	0,91	3,00	1,27	2,48	2,05	1,33	0,70
<i>Anthus trivialis</i>	26,48	8,42	18,47	7,81	9,52	7,89	5,64	2,98
<i>Asio flammeus</i>	0,20	0,06	0,15	0,06	0,20	0,17	0,18	0,10
<i>Buteo buteo</i>	1,40	0,45	0,78	0,33	0,50	0,42	1,16	0,61
<i>Carduelis carduelis</i>	4,95	1,58	2,96	1,25	0,76	0,63	5,15	2,71
<i>Carpodacus erythrinus</i>	0,29	0,09	1,13	0,48	0,00	0,00	0,93	0,49
<i>Columba palumbus</i>	3,90	1,24	1,14	0,48	0,63	0,52	1,48	0,78
<i>Corvus corax</i>	1,04	0,33	0,43	0,18	0,37	0,31	0,40	0,21
<i>Corvus cornix</i>	0,00	0,00	0,32	0,14	0,45	0,37	0,11	0,06
<i>Cuculus canorus</i>	0,89	0,28	0,17	0,07	0,18	0,15	0,32	0,17
<i>Dendroccopus leucotos</i>	0,19	0,06	1,89	0,80	0,47	0,39	1,12	0,59
<i>Dendroccopus major</i>	1,55	0,49	1,66	0,70	0,52	0,43	1,48	0,78
<i>Emberiza citrinella</i>	4,57	1,45	8,01	3,38	4,43	3,67	4,34	2,29
<i>Emberiza schoeniclus</i>	4,57	1,45	4,46	1,89	0,00	0,00	0,14	0,08
<i>Eritacus rubecula</i>	1,71	0,55	0,76	0,32	0,15	0,12	1,50	0,79
<i>Falco tinnunculus</i>	0,00	0,00	0,08	0,03	0,53	0,44	0,51	0,27
<i>Fringilla coelebs</i>	29,68	9,44	19,79	8,36	<b>13,05</b>	<b>10,8</b>	18,02	9,51
<i>Fringilla montifrigilla</i>	7,05	2,24	4,28	1,81	3,14	2,60	3,01	1,59
<i>Hippolais calligata</i>	9,46	3,01	7,87	3,33	2,19	1,82	4,39	2,32
<i>Locustella naevia</i>	1,05	0,33	0,34	0,14	0,55	0,45	0,55	0,29
<i>Luscinia luscinia</i>	0,19	0,06	0,36	0,15	0,59	0,49	0,27	0,14
<i>Luscinia svecica</i>	2,48	0,79	1,09	0,46	0,62	0,51	1,43	0,75
<i>Milvus migrans</i>	0,72	0,23	0,41	0,17	0,32	0,26	0,62	0,33
<i>Muscicapa hypoleuca</i>	1,71	0,55	2,46	1,04	0,20	0,16	1,79	0,95
<i>Muscicapa striata</i>	6,29	2,00	3,31	1,40	0,65	0,54	2,72	1,44
<i>Orlulus oriolus</i>	0,47	0,15	0,32	0,13	0,10	0,08	0,09	0,05
<i>Parus major</i>	15,74	5,01	11,08	4,68	6,25	5,18	15,49	8,17
<i>Parus caeruleus</i>	8,44	2,68	3,54	1,50	0,95	0,79	2,19	1,15
<i>Parus cyanus</i>	16,97	5,40	4,47	1,89	0,95	0,79	3,99	2,11
<i>Parus montanus</i>	<b>64,10</b>	<b>20,39</b>	<b>53,83</b>	<b>22,75</b>	<b>24,98</b>	<b>20,7</b>	<b>50,67</b>	<b>26,72</b>
<i>Phoenicurus phoenicurus</i>	3,24	1,03	3,88	1,64	2,06	1,71	1,98	1,04
<i>Phylloscopus collybita</i>	10,57	3,36	5,32	2,25	2,49	2,07	3,56	1,88
<i>Phylloscopus trochilus</i>	7,54	2,40	6,60	2,79	5,83	4,83	8,49	4,48
<i>Pica pica</i>	3,08	0,98	2,09	0,88	1,27	1,05	2,95	1,56
<i>Prunella modularis</i>	1,05	0,33	1,52	0,64	0,36	0,30	0,64	0,34
<i>Pyrrhula pyrrhula</i>	6,48	2,06	3,27	1,38	1,39	1,15	1,74	0,92
<i>Sitta europaea</i>	2,76	0,88	2,86	1,21	0,96	0,80	5,54	2,92
<i>Streptopelia orientalis</i>	0,57	0,18	1,19	0,50	0,01	0,01	0,90	0,47
<i>Streptopelia turtur</i>	1,84	0,58	0,88	0,37	0,40	0,33	0,56	0,30
<i>Sturnus vulgaris</i>	2,72	0,87	0,16	0,07	0,20	0,17	0,68	0,36
<i>Sylvia borin</i>	6,76	2,15	2,46	1,04	1,95	1,62	2,61	1,38
<i>Sylvia communis</i>	4,57	1,45	4,18	1,77	1,02	0,84	1,86	0,98
<i>Tetrastes bonasia</i>	0,67	0,21	2,99	1,27	3,00	2,48	0,82	0,43
<i>Turdus pilaris</i>	2,61	0,83	1,47	0,62	1,67	1,39	4,36	2,30
<i>Turdus viscivorus</i>	0,00	0,00	0,93	0,39	0,67	0,56	0,68	0,36
<i>Uragus sibiricus</i>	5,90	1,88	2,97	1,26	0,9	0,75	0,61	0,32

Примечание: жирным шрифтом выделены виды-доминанты.

Таблица 3

**Структура сообществ птиц по относительному обилию видов  
в лесных местообитаниях Российского Приишмья**  
**Structure of avian communities on the relative abundance of species  
in forest habitats of the Russian Priishymye**

Группа птиц	Доля видов (в числителе — абсолютное количество, в знаменателе — %)															
	Южная тайга			Подтайга				Северная лесостепь					Средняя лесостепь			
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI
Доминанты	<u>1</u> 22,5	<u>4</u> 54,78	<u>2</u> 30,34	<u>1</u> 23,58	<u>2</u> 28,14	<u>1</u> 34,79	<u>2</u> 28,88	<u>1</u> 19,91	<u>3</u> 36,87	<u>2</u> 34,19	<u>2</u> 40,32	<u>3</u> 40,32	<u>1</u> 32,06	<u>1</u> 26,39	<u>2</u> 35,41	<u>2</u> 38,52
Многочисленные	<u>2</u> 15,5	<u>2</u> 11,81	<u>2</u> 13,94	<u>3</u> 18,59	<u>4</u> 28,07	<u>3</u> 16,99	<u>3</u> 20,92	<u>2</u> 15,71	<u>4</u> 26,43	<u>2</u> 11,9	<u>2</u> 14,54	<u>6</u> 45,18	<u>3</u> 23,51	<u>2</u> 14,99	<u>3</u> 19,96	<u>4</u> 32,71
Обычные	<u>13</u> 36,52	<u>5</u> 17,67	<u>8</u> 23,21	<u>9</u> 26,12	<u>8</u> 21,37	<u>7</u> 18,99	<u>5</u> 14,48	<u>5</u> 14,32	<u>3</u> 10,62	<u>9</u> 26,54	<u>7</u> 26,89	<u>2</u> 6,73	<u>8</u> 19,71	<u>9</u> 29,86	<u>6</u> 18,04	<u>5</u> 17,52
Редкие	<u>10</u> 13,34	<u>6</u> 8,03	<u>15</u> 22,61	<u>13</u> 17,28	<u>8</u> 11,07	<u>13</u> 18,53	<u>13</u> 18,12	<u>9</u> 12,75	<u>9</u> 14,11	<u>7</u> 9,63	<u>8</u> 12,39	<u>3</u> 3,41	<u>8</u> 10,74	<u>12</u> 17,57	<u>8</u> 9,57	<u>3</u> 4,59
Очень редкие	<u>21</u> 11,62	<u>23</u> 7,6	<u>22</u> 9,49	<u>44</u> 16,6	<u>23</u> 11,12	<u>25</u> 10,34	<u>41</u> 17,18	<u>57</u> 22,04	<u>24</u> 11,68	<u>42</u> 17,07	<u>24</u> 5,66	<u>3</u> 1,51	<u>32</u> 13,28	<u>33</u> 11,03	<u>40</u> 16,59	<u>13</u> 6,21
Чрезвычайно редкие	<u>8</u> 0,44	<u>2</u> 0,1	<u>5</u> 0,41	<u>21</u> 1,18	<u>4</u> 0,23	<u>6</u> 0,36	<u>8</u> 0,43	<u>30</u> 1,08	<u>4</u> 0,29	<u>12</u> 0,67	<u>3</u> 0,2	—	<u>12</u> 0,71	<u>4</u> 0,16	<u>10</u> 0,43	<u>5</u> 0,46
Фоновые	<u>16</u> 74,52	<u>11</u> 84,26	<u>12</u> 60,7	<u>13</u> 68,29	<u>14</u> 77,65	<u>11</u> 70,77	<u>10</u> 64,28	<u>9</u> 49,94	<u>10</u> 73,92	<u>13</u> 72,63	<u>11</u> 81,75	<u>11</u> 92,23	<u>12</u> 75,28	<u>12</u> 71,24	<u>11</u> 73,41	<u>11</u> 88,75
Доля суммарного обилия видов (в числителе — особей/км <sup>2</sup> , в знаменателе — %)																
Доминанты	<u>85,43</u> 22,5	<u>140,86</u> 54,78	<u>92,86</u> 30,34	<u>59,33</u> 23,58	<u>44,85</u> 28,14	<u>49,71</u> 34,79	<u>88,44</u> 28,88	<u>31,5</u> 19,91	<u>42,86</u> 36,87	<u>50,43</u> 35,77	<u>87,14</u> 40,32	<u>12,29</u> 40,32	<u>119,4</u> 32,06	<u>34,71</u> 26,39	<u>91,85</u> 35,41	<u>40</u> 38,52
Многочисленные	<u>59,03</u> 15,5	<u>30,37</u> 11,81	<u>42,66</u> 13,94	<u>21,52</u> 18,59	<u>44,73</u> 28,07	<u>34,29</u> 16,99	<u>53,54</u> 20,92	<u>23,1</u> 15,71	<u>23,86</u> 20,53	<u>9,43</u> 11,9	<u>31,43</u> 14,54	<u>12,86</u> 45,18	<u>24,43</u> 6,57	<u>19,71</u> 14,99	<u>51,76</u> 19,96	<u>33,97</u> 32,71
Обычные	<u>138,66</u> 36,52	<u>45,43</u> 17,67	<u>71,03</u> 23,21	<u>90,95</u> 26,12	<u>34,06</u> 21,37	<u>27,14</u> 18,99	<u>44,34</u> 14,48	<u>22,5</u> 14,32	<u>19,20</u> 16,52	<u>40,13</u> 26,54	<u>58,11</u> 26,89	<u>0,57</u> 6,73	<u>73,24</u> 19,71	<u>39,29</u> 29,86	<u>71,6</u> 18,04	<u>18,19</u> 17,52
Редкие	<u>50,66</u> 13,34	<u>20,66</u> 8,03	<u>69,2</u> 22,61	<u>37,18</u> 17,28	<u>17,64</u> 11,07	<u>26,49</u> 18,53	<u>55,47</u> 18,11	<u>18,07</u> 12,75	<u>16,40</u> 14,11	<u>19,84</u> 9,63	<u>26,77</u> 12,39	<u>0,97</u> 3,41	<u>43,51</u> 10,74	<u>23,11</u> 17,57	<u>21,51</u> 9,57	<u>4,76</u> 4,59
Очень редкие	<u>44,23</u> 11,65	<u>19,54</u> 7,6	<u>29,03</u> 9,49	<u>29,49</u> 16,5	<u>17,73</u> 11,12	<u>14,77</u> 10,34	<u>52,59</u> 17,18	<u>4,93</u> 1,08	<u>13,57</u> 11,68	<u>2,67</u> 17,07	<u>12,23</u> 5,66	—	<u>49,36</u> 13,28	<u>14,51</u> 11,03	<u>43,04</u> 16,59	<u>6,44</u> 6,21
Чрезвычайно редкие	<u>1,66</u> 0,44	<u>0,26</u> 0,1	<u>1,26</u> 0,41	<u>3,04</u> 1,18	<u>0,36</u> 0,23	<u>0,51</u> 0,36	<u>1,31</u> 0,43	<u>0,12</u> 0,85	<u>0,34</u> 0,29	<u>0,47</u> 0,67	<u>0,86</u> 0,4	<u>0,43</u> 1,51	<u>2,63</u> 0,71	<u>0,21</u> 0,16	<u>1,11</u> 0,43	<u>0,48</u> 0,46
Фоновые	<u>283,06</u> 74,52	<u>216,66</u> 84,26	<u>168,66</u> 60,7	<u>171,8</u> 68,29	<u>123,64</u> 77,65	<u>111,14</u> 70,77	<u>186,32</u> 64,28	<u>77,1</u> 49,94	<u>85,92</u> 73,92	<u>99,99</u> 72,63	<u>176,68</u> 81,75	<u>25,72</u> 92,23	<u>217,07</u> 75,28	<u>93,71</u> 71,24	<u>215,21</u> 73,41	<u>92,16</u> 88,75

Примечание. I, IX — сосновые леса; II, VIII, XVI — березово-осиновые леса; III — пойменные леса и урмы; IV, XIV — березово-осиновые колки; V, X — березовые колки на склонах; VI — березовые колки на возвышенностях; VII — осиново-березовые леса; XI — березово-осиновые леса заболоченные; XII — осиново-березовые колки; XIII — березово-осиновые леса с перелесками; XV — березовые колки

Таблица 4

**Фауногенетическая структура лесной орнитофауны Российского Приишмья**  
**Phenogenetical structure of forest avifauna of the Russian Priishymye**

Биотоп	Южная тайга			Подтайга				Северная лесостепь					Средняя лесостепь			
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI
Арктический	1	—	—	—	—	—	2	1	—	—	—	—	—	—	—	—
Сибирский	3	2	—	10	2	2	11	6	2	2	3	—	3	—	—	2
Европейский	20	13	26	29	18	19	21	25	19	20	27	7	17	22	25	12
Неморальный	20	13	26	29	18	19	21	25	19	20	27	7	16	22	25	12
Лесостепной	11	7	12	12	9	6	11	12	10	7	10	3	17	12	13	9
Китайский	—	—	—	3	—	1	3	—	1	—	—	1	2	1	2	—
Европейско-китайский	12	13	16	24	11	17	16	18	9	8	18	3	12	12	18	7
Древненеморальный	12	13	16	24	11	17	16	18	9	8	18	3	12	12	18	7
Древнелесостепной	3	2	3	3	2	—	7	—	3	2	2	—	4	3	2	—
Альпийский	—	—	1	—	—	1	1	—	—	—	—	—	1	—	—	—
Космополит	—	1	—	1	—	1	1	—	1	—	1	—	1	1	1	—

Примечание: обозначения I — XVI см. в примечании к табл. 3.

В разных биотопах, приуроченных к одной природной зоне, фоновые виды разные. Внутри одинаковых биотопов, расположенных в разных подзонах исследуемой территории, фоновые виды также разные.

Так, в сосновых лесах южной тайги отмечено 16 видов: *Parus montanus* (22,5 %), *Fringilla coelebs* (9,3 %), *Parus major* (6,24 %), *Anthus trivialis* (3,76 %), *Acanthis flammea* (3,38 %), *Phylloscopus trochilus* (3,32 %), *Phylloscopus collybita* (3,31 %), *Carduelis carduelis* (2,93 %), *Columba palumbus* (2,88 %), *Emberiza schoeniclus* (2,7 %), *Sylvia borin* (2,55 %), *Sylvia communis* (2,48 %), *Pyrrhula pyrrhula* (2,4 %), *Parus caeruleus* (2,33 %), *Muscicapa striata* (2,25 %), *Aegithalos caudatus* (2,15 %), в аналогичных местообитаниях северной лесостепи к числу фоновых относятся 9 видов: *Parus montanus* (18,06 %), *Fringilla coelebs* (10,81 %), *Parus major* (6,83 %), *Anthus trivialis* (6,32 %), *Emberiza citrinella* (3,66 %), *Carduelis carduelis* (3,57 %), *Phylloscopus trochilus* (2,65 %), *Sylvia borin* (2,55 %), *Cannabina cannabina* (2,04 %).

Местообитания, приуроченные к березово-осиновым лесам южной тайги, характеризуются 11 фоновыми видами: *Parus montanus* (18,89 %), *Parus cyanus* (13,33 %), *Anthus trivialis* (11,89 %), *Fringilla coelebs* (10,66 %), *Uragus sibiricus* (6,22 %), *Hippolais calligata* (5,58 %), *Acanthis flammea* (4,44 %), *Fringilla montifrigilla* (3,88 %), *Parus caeruleus* (3,44 %), *Phylloscopus collybita* (3,11 %), *Parus major* (2,77 %). В тех же местообитаниях подтайги к фоновым относятся 8 видов: *Parus montanus* (19,91 %), *Fringilla coelebs* (8,62 %), *Anthus trivialis* (7,07 %), *Parus major* (4,15 %), *Hippolais calligata* (3,04 %), *Phylloscopus trochilus* (2,87 %), *Emberiza citrinella* (2,18 %), *Phylloscopus collybita* (2,04 %). В аналогичных местообитаниях северной лесостепи фоновыми являются 13 видов: *Parus montanus* (23,49 %), *Anthus trivialis* (10,69 %), *Fringilla coelebs* (6,84 %), *Parus major* (5,05 %), *Anthus hodgsoni* (3,93 %), *Tetrastes bonasia* (3,92 %), *Phoenicurus phoenicurus* (3,09 %), *Phylloscopus collybita* (3,09 %), *Phylloscopus trochilus* (3,02 %), *Acrocephalus dumetorum* (2,54 %), *Emberiza citrinella* (2,35 %), *Hippolais calligata* (2,35 %), *Certhia familiaris* (2,2 %). В местообитаниях этого же типа средней лесостепи к фоновым относятся 11 видов: *Parus montanus* (24,63 %), *Fringilla coelebs* (10,7 %), *Parus major* (8,76 %), *Phylloscopus trochilus* (6,18 %), *Sitta europaea* (5,002 %), *Acrocephalus dumetorum* (3,76 %), *Carduelis carduelis* (3,15 %), *Emberiza citrinella* (3,09 %), *Turdus pilaris* (2,98 %), *Anthus trivialis* (2,57 %), *Sylvia atricapilla* (2,47 %).

Местообитания, приуроченные к пойменным лесам и урёмам южной тайги, характеризуются 12 фоновыми видами: *Parus montanus* (19,04 %), *Anthus trivialis* (11,29 %), *Fringilla coelebs* (8,58 %), *Parus major* (5,34 %), *Phylloscopus collybita* (3,64 %), *Hippolais calligata* (3,26 %), *Sylvia borin* (3,08 %), *Parus cyanus* (2,98 %), *Acanthis flammea* (2,98 %), *Phylloscopus trochilus* (2,61 %), *Parus caeruleus* (2,48 %), *Muscicapa striata* (2,14 %).

Местообитания, приуроченные к березово-осиновым колкам подтайги, характеризуются 13 фоновыми видами: *Parus montanus* (23,58 %), *Anthus trivialis* (8,55 %), *Fringilla coelebs* (5,03 %), *Hippolais calligata* (4,99 %), *Emberiza citrinella* (4,39 %), *Parus major* (3,82 %), *Parus caeruleus* (2,95 %), *Parus cyanus* (2,87 %), *Phylloscopus collybita* (2,53 %), *Sylvia communis* (2,49 %), *Fringilla montifrigilla* (2,49 %), *Acanthis flammea* (2,34 %), *Muscicapa striata* (2,19 %). В аналогичных местообитаниях северной лесостепи 11 видов относятся к фоновым: *Parus montanus* (32,05 %), *Parus major* (8,8 %), *Parus cyanus* (8,13 %), *Fringilla coelebs* (6,57 %), *Anthus trivialis* (3,68 %), *Parus caeruleus* (2,53 %), *Phylloscopus collybita* (2,53 %), *Hippolais calligata* (2,45 %), *Pica pica* (2,27 %), *Acrocephalus dumetorum* (2,11 %), *Phylloscopus sibilator* (2,09 %).

В местообитаниях, относящихся к березовым колкам на склонах, расположенных в подтайге, отмечены следующие виды: *Parus montanus* (17,87 %), *Fringilla coelebs* (10,26 %), *Phylloscopus trochilus* (9,05 %), *Anthus trivialis* (7,22 %), *Emberiza citrinella* (6,08 %), *Carduelis carduelis* (5,7 %), *Parus major* (3,61 %), *Uragus sibiricus* (3,42 %), *Certhia familiaris* (3,04 %), *Acanthis flammea* (2,47 %), *Tetrastes bonasia* (2,35 %), *Emberiza schoeniclus* (2,28 %), *Phoenicurus phoenicurus* (2,09 %), *Sylvia atricapilla* (2,09 %).

В березовых колках на возвышенностях подтаежной зоны к фоновым видам относится 10 видов: *Parus montanus* (34,7 %), *Fringilla coelebs* (5,99 %), *Anthus trivialis* (5,59 %), *Parus major* (5,39 %), *Pyrrhula pyrrhula* (3,99 %), *Phylloscopus collybita* (3,39 %), *Acanthis flammea* (2,59 %), *Certhia familiaris* (2,39 %), *Tetrastes bonasia* (2,39 %), *Emberiza citrinella* (2,19 %).

В местообитаниях, приуроченных к осиново-березовым лесам подтаежной подзоны, фоновыми являются 10 видов: *Parus montanus* (18,06 %), *Fringilla coelebs* (10,81 %), *Emberiza schoeniclus* (7,75 %), *Parus major* (6,83 %), *Anthus trivialis* (6,32 %), *Emberiza citrinella* (3,66 %), *Carduelis carduelis* (3,57 %), *Phylloscopus trochilus* (2,65 %), *Sylvia borin* (2,55 %), *Cannabina cannabina* (2,04 %).

В местообитаниях, приуроченных к заболоченным осиново-березовым лесам северной лесостепи, относятся к фоновым 11 видов: *Parus montanus* (21,41 %), *Fringilla coelebs* (18,9 %), *Fringilla montifrigilla* (7,93 %), *Phylloscopus trochilus* (6,61 %), *Parus major* (4,89 %), *Phoenicurus ochruros* (4,75 %), *Sylvia atricapilla* (4,09 %), *Emberiza citrinella* (3,83 %), *Turdus pilaris* (3,62 %), *Anthus trivialis* (2,9 %), *Chloris chloris* (2,77 %).

В местообитаниях, приуроченных к березово-осиновым лесам с перелесками северной лесостепи, относятся к фоновым 11 видов: *Parus cyanus* (16,06 %), *Phylloscopus trochilus* (15,05 %), *Phylloscopus trochiloides* (12,04 %), *Luscinia luscinia* (9,06 %), *Parus caeruleus* (9 %), *Emberiza citrinella* (7,04 %), *Luscinia svecica* (7 %), *Phylloscopus collybita* (7,02 %), *Acrocephalus dumetorum* (6,02 %), *Turdus pilaris* (4,71 %), *Turdus musicus* (2,007 %).

В местообитаниях, приуроченных к березовым колкам средней лесостепи, фоновыми являются 12 видов: *Parus montanus* (26,38 %), *Fringilla coelebs* (9,77 %), *Hippolais calligata* (5,21 %), *Parus major* (4,88 %), *Fringilla montifrigilla* (4,77 %), *Anthus trivialis* (4,34 %), *Phylloscopus collybita* (3,47 %), *Phylloscopus trochilus* (2,71 %), *Phoenicurus phoenicurus* (2,6 %), *Parus caeruleus* (2,38 %), *Sylvia communis* (2,38 %), *Sylvia borin* (2,28 %).

В местообитаниях, приуроченных к разреженным березовым колкам средней лесостепи, 11 фоновых видов: *Parus montanus* (24,15 %), *Carduelis carduelis* (14,36 %), *Fringilla coelebs* (9,78 %), *Parus major* (9,78 %), *Muscicapa striata* (7,03 %), *Phylloscopus trochilus* (6,11 %), *Sylvia borin* (4,89 %), *Turdus pilaris* (4,67 %), *Pica pica* (2,75 %), *Sitta europaea* (2,75 %), *Hippolais calligata* (2,44 %). Таким образом, к числу фоновых видов для всех изученных местообитаний лесов Российского Приишимья относятся 40 видов птиц (табл. 3).

**Фауногенетическая структура лесной орнитофауны** (табл. 4) характеризуется преобладанием неморального фаунистического комплекса во всех исследованных местообитаниях (68 видов, или 54,9 % орнитофауны), в том числе собственно неморального, выделяемого в пределах европейского типа фауны, 44 вида (34,9 %), а древненеморального, относящегося к европейско-китайскому типу, 24 вида (19,04 %). Лесостепной фаунистический комплекс представлен 21 видом (16,6 %), экологически близок к нему древнелесостепной комплекс (13 видов, или 10,3 %), выделяемый в рамках европейско-китайского типа фауны. Всего же лесостепной комплекс (в том числе европейский и европейско-китайский) составляет 26,9 % орнитофауны. Сибирский тип фауны представлен 16 видами (12,6 %). Арктический тип фауны

представлен четырьмя видами (3,1 %). К китайскому типу фауны относятся три вида (2,3 %). Один вид относится к космополитам и еще один к альпийскому типу фауны. Для *Cuculus canorus*, *Aquila pomarina* и *Sturnus vulgaris* фаунистические связи до конца не установлены.

Таким образом, в фауногенетической структуре современной лесной орнитофауны Российского Приишимья прослеживается сильное филогенетическое влияние европейского неморального фаунистического типа. Примечательно, что орнитофауна исследуемого района практически полностью соответствует европейскому типу фауны. Так, здесь представлены и неморальный фаунистический комплекс, в том числе собственно неморальные виды (*Pernis apivorus*, *Turdus philomelos*, *Sylvia atricapilla* и др.), которые широко распространены в местообитаниях средней и северной лесостепи, и болотно-неморальная группа видов (*Erithacus rubecula*, *Luscinia luscinia*, *Sylvia borin*, *Phylloscopus collybita*, *Parus caeruleus* и др.), соответствующая березово-осиновым лесам северной лесостепи и осиново-березовым лесам подтайги, и борово-неморальная группа видов (*Turdus viscivorus*, *Phylloscopus sibilatrix*, *Muscicapa striata*, *Fringilla coelebs* и др.). Распространение древненеморальных видов может говорить о более высокой лесистости данной местности в прошлом [19, 20].

Второй крупный комплекс лесной орнитофауны — лесостепные птицы. Лесостепной комплекс, в том числе собственно лесостепная группа (*Falco vespertinus*, *Perdix perdix*, *Anthus trivialis*, *Lanius collurio*, *Emberiza citrinella*, *E. hortulana* и др.) и лесолуговая группа (*Corvus cornix*, *Chloris chloris*) представлены бистациональными видами, нуждающимися в разных гнездовых и кормовых станциях. При этом с древесно-кустарниковыми местообитаниями данные виды связаны преимущественно как с гнездовой стацией, а с луговыми и степными как с кормовой стацией [19]. В целом наблюдается увеличение количества представителей европейского типа лесостепной фауны: с семи видов в южнотаежных местообитаниях до 17 видов в местообитаниях северной лесостепи.

Наибольшее количество видов сибирского фаунистического типа отмечено в местообитаниях подтаежной подзоны. Так, в осиново-березовых лесах доля их составляет 10 % всех видов, зарегистрированных в данном местообитании.

## Выводы

В ходе проведенного исследования в лесных местообитаниях разных природных зон и подзон Российского Приишимья отмечено 189 видов птиц из 10 отрядов, 37 семейств и 87 родов.



Наибольшее число видов (114) отмечено в подзоне северной лесостепи, наименьшее (91) — в подзоне средней лесостепи.

Самыми низкими значениями показателей обилия и среднего числа видов характеризуются лесные местообитания подтаежной зоны, что можно объяснить антропогенной трансформацией лесных биотопов, ведущей к сокращению площади и обеднению видового состава лесной растительности, увеличению количества полуоткрытых и открытых биотопов, характерных для более южных подзон.

Наибольшими значениями индексов видового богатства и видового разнообразия характеризуется местообитания северной лесостепи несмотря на понижение их значений в 2016 г. по сравнению с 2015 г. Наиболее значимое понижение индексов видового богатства и видового разнообразия отмечено в орнитоценозах березовых колков средней лесостепи. Одновременно наблюдается увеличение значений данных индексов разнообразия  $R$ ,  $H$ ,  $D$  в местообитаниях подтаежной подзоны. Результаты анализа распределения индексов Шеннона и Симпсона позволяют считать, что указанное снижение видового разнообразия произошло за счет сокращения числа редких видов и сохранения фоновых видов на уровне 2015 г.

В лесных орнитоценозах выявлено малое количество доминантных видов. В большинстве исследуемых местообитаний доминантами являются *Parus montanus*, *Fringilla coelebs*, *Anthus trivialis*. К фоновым видам относятся 40 видов птиц, их суммарный вклад в население исследованных орнитоценозов составляет в среднем 68 %, что указывает на достаточное высокое разнообразие исследуемых местообитаний в целом.

Основу исследованных лесных орнитоценозов составляют виды европейского типа фауны, неморального фаунистического комплекса. По мере продвижения от средней лесостепи к южной тайге увеличивается количество видов, относящихся к древнеморальному фаунистическому комплексу европейско-китайского типа фауны. Наибольшее количество видов сибирского типа представлено в местообитаниях подзоны подтайги.

## Список литературы

- [1] Соколов В.Е., Решетников Ю.С. Мониторинг биоразнообразия. М.: ИПЭЭ РАН, 1997. С. 8–15.
- [2] Соловьев С.А. Птицы Тоболо-Иртышской лесостепи и степи: Западная Сибирь и Северный Казахстан. В 2 т. Т. 1: Пространственная структура и организация населения. Новосибирск: СО РАН, 2012. 294 с.
- [3] Равкин Ю.С. К методике учета птиц лесных ландшафтов // Природа очагов клещевого энцефалита на Алтае / под ред. А.А. Максимова. Новосибирск: Наука 1967. С. 66–75.
- [4] Гашев С.Н. Практическое применение методики маршрутного учета птиц с неограниченной шириной учетной полосы // Экологический мониторинг и биоразнообразие, 2014. № 2 (9). С. 58–61.
- [5] Равкин Ю.С., Доброхотов Б.П. К методике учета птиц лесных ландшафтов во внегнездовое время // Организация и методы учета птиц и вредных грызунов / под ред. Ю.С. Равкина, Б.П. Доброхотова. М.: Изд-во АН СССР, 1963. С. 130–136.
- [6] Равкин Е.С. Пространственно-временная и временная структура населения птиц. Подмосковные смешанные леса // Пространственно-временная динамика животного населения (птицы и мелкие млекопитающие) / под ред. А. А. Максимова. Новосибирск: Наука, 1985. С. 139–159.
- [7] Равкин Ю.С., Ливанов С.Г. Факторная зоогеография: принципы, методы и теоретические представления. Новосибирск: Наука, 2008. 205 с.
- [8] Равкин Ю.С., Ливанов С.Г., Покровская И.В. Мониторинг разнообразия позвоночных на особо охраняемых природных территориях (информационно-методические материалы) // Сб. докл. семинара-совещания «Организация научных исследований в заповедниках и национальных парках». Пушино-на-Оке, 18–26 декабря 1999 г. М.: Всемирный фонд дикой природы, 1999. С. 103–142.
- [9] Кузякин А.П. Зоогеография СССР // Уч. зап. Моск. обл. пед. ин-та им. Н.К. Крупской / под ред. А.П. Кузякина. М.: МОПИ им. Н.К. Крупской, 1962. Т. 109. С. 3–182.
- [10] Рябцев В.К. Птицы Урала, Приаралья и Западной Сибири: справ.-определитель. Екатеринбург: УрО РАН, 2008. 634 с.
- [11] Гашев С.Н. Млекопитающие в системе экологического мониторинга (на примере Тюменской области). Тюмень: Тюменский гос. ун-т, 2000. 220 с.
- [12] Глазовская М.А. Принципы классификации почв по их устойчивости к химическому загрязнению // Земельные ресурсы мира, их использование и охрана / под ред. В.А. Ковды. М.: Наука, 1978. С. 5–15.
- [13] Глазовская М.А. Ландшафтно-геохимические основы фонового мониторинга природной среды. М.: Наука, 1989. 326 с.
- [14] Крауклис А.А. Проблемы экспериментального ландшафтоведения. Новосибирск: Наука, 1979. 157 с.
- [15] Пых Ю.А. Равновесие и устойчивость в моделях популяционной динамики. М.: Наука, 1983. 183 с.
- [16] Степанян Л.С. Конспект орнитологической фауны России и сопредельных территорий (в границах СССР как исторической области) / под ред. Д.С. Павлова. М.: Академкнига, 2003. 808 с.
- [17] Рабочее место орнитолога. Патент № 2012620405 / С.Н. Гашев. Зарегистрирован в Реестре баз данных 03.05.2012.
- [18] Юдкин В.А. Птицы подтаежных лесов Западной Сибири. Новосибирск: Наука, 2002. 488 с.
- [19] Белик В.П. Фауногенетическая структура и связи западно-палеарктической орнитофауны // Кавказский орнитологический вестник, 1992. Вып. 3. С. 19–52.
- [20] Белик В.П. Типологическое деление авифауны Палеарктики // Развитие современной орнитологии в Северной Евразии: Тр. XII Междунар. орнитол. конф. Ставрополь, 31 января – 5 февраля 2006 г. Ставрополь: СГУ, 2006. С. 158–171.

## Сведения об авторе

**Болдырев Степан Леонидович** — аспирант кафедры биологии, географии и методик их преподавания Ишимского педагогического института имени П.П. Ершова (филиал ФГБОУ ВО «Тюменский государственный университет»), [boldyrev.stepan@yandex.ru](mailto:boldyrev.stepan@yandex.ru)

Принята к публикации 25.09.2017.

Поступила в редакцию 18.12.2018.

## SPECIES AND STRUCTURAL DIVERSITY OF FOREST BIRD COMMUNITIES IN WESTERN SIBERIA IN THE RUSSIAN ISHIM

**S.L. Boldyrev**

Ishim Pedagogical Institute named after P.P. Yerшов (branch of Tyumen State University), 627750, Ishim, Lenin str., 1

[boldyrev.stepan@yandex.ru](mailto:boldyrev.stepan@yandex.ru)

The article presents some results of surveys of birds carried out in 2015–2016 in the forest bird communities of the Russian Priishymye. The study noted 189 species of birds from 10 orders, 37 families and 87 genera. The greatest number of species (114) was observed in the Northern forest-steppe subzone, the lowest (91) in the middle subzone of forest-steppe. The lowest values of indicators of abundance and of mean number of species are characterized by forest habitats subtaiga zone, which can be attributed to anthropogenic transformation of forest habitats, leading to a reduction in the area and the impoverishment of the species composition of forest vegetation, increase the number of open and semi-open habitats, characteristic of the more southern subzones. The greatest values of indices species richness and species diversity are characterized by habitats of the Northern forest-steppe, despite a decrease in their values in the sample 2016 compared to 2015. The most significant decrease in the indices of species richness and species diversity was observed in the bird communities of birch groves middle of the forest. The results of the analysis of the distribution of the indices of Shannon and Simpson suggest that the decrease in species diversity was due to the reduction in the number of rare species and conservation of common species at the level of 2015. In forest bird communities a small number of dominant species was identified. In most of the investigated habitats dominants there are *Parus montanus*, *Fringilla coelebs*, *Anthus trivialis*. The background species include 40 species of birds, their total contribution to the population of studied bird communities is on average 68 %, which indicates a sufficiently high diversity of habitats in General. The basis of the studied forest bird communities are species of the European type of fauna, nemoral faunal complex.

**Keywords:** biodiversity, Russian Ishim, forest ornithocenosis, population density, phenogenetically structure

**Suggested citation:** Boldyrev S.L. *Vidovoe i strukturnoe raznoobrazie lesnykh ornitotsenozov Zapadnoy Sibiri na primere Rossiyskogo Priishim'ya* [Species and structural diversity of forest bird communities in Western Siberia in the Russian Ishim]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 2, pp. 16–27.

DOI: 10.18698/2542-1468-2018-2-16-27

## References

- [1] Sokolov V.E., Reshetnikov Yu.S. *Monitoring bioraznoobraziya* [Monitoring of biodiversity]. Moscow: Institute of Ecology and Evolution RAS Publ., 1997, pp. 8–15.
- [2] Solov'ev S.A. *Ptitsy Tobolo-Irtyshskoy lesostepi i stepi: Zapadnaya Sibir' i Severnyy Kazakhstan. V 2 t. T. 1: Prostranstvennaya struktura i organizatsiya naseleniya* [Birds of the Tobol-Irtysh forest-steppe and steppe: Occurring Siberia and Northern Kazakhstan (in 2 vol.). V. 1: Spatial structure and organization of the population]. Novosibirsk: Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences Publ., 2012, 294 p.
- [3] Ravkin Yu.S. *K metodike ucheta ptits lesnykh landshaftov* [To the method of recording birds of forest landscapes]. *Priroda ochagov kleshchevogo entsefalita na Altae* [The nature of foci of tick-borne encephalitis in the Altai]. Novosibirsk, 1967, pp. 66–75.
- [4] Gashev S.N. *Prakticheskoe primeneniye metodiki marshrutnogo ucheta ptits s neogranichennoy shirinoy uchetonoy polosy* [Practical application of the method of route recording of birds with unlimited width of the accounting strip]. *Ekologicheskyy monitoring i bioraznoobrazie* [Environmental Monitoring and Biodiversity]. 2014, no. 2 (9), pp. 58–61.
- [5] Ravkin Yu.S., Dobrokhotov B.P. *K metodike ucheta ptits lesnykh landshaftov vo vnezhdovoe vremya* [To the method of recording birds of forest landscapes during out-of-nest time]. *Organizatsiya i metody ucheta ptits i vrednykh gryzunov* [Organization and methods of recording birds and harmful rodents]. Moscow: Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR, 1963, pp. 130–136.
- [6] Ravkin E.S. *Prostranstvenno-vremennaya i vremennaya struktura naseleniya ptits. Podmoskovnye smeshannye lesa* [Spatio-temporal and temporal structure of the bird population. Moscow Region mixed forests]. *Prostranstvenno-vremennaya dinamika zhivotnogo naseleniya (ptitsy i melkie mlekoopitayushchie)* [Spatio-temporal dynamics of the animal population (birds and small mammals)]. Novosibirsk: Nauka Publ., 1985, pp. 139–159.

- [7] Ravkin Yu.S., Livanov S.G. *Faktornaya zoogeografiya: printsipy, metody i teoreticheskie predstavleniya* [Factor zoogeography: principles, methods and theoretical concepts]. Novosibirsk: Nauka Publ., 2008, 205 p.
- [8] Ravkin Yu.S., Livanov S.G., Pokrovskaya I.V. *Monitoring raznoobraziya pozvonochnykh na osobo okhranyaemykh prirodnykh territoriyakh (informatsionno-metodicheskie materialy)* [Monitoring of vertebrate diversity in specially protected natural areas (information and methodological materials)]. *Sb. dokl. seminarov-soveshchaniya «Organizatsiya nauchnykh issledovaniy v zapovednikakh i natsional'nykh parkakh». Pushchino-na-Oke, 18–26 dekabrya 1999 g.* [Collection of reports of the seminar-meeting «Organization of scientific research in nature reserves and national parks»]. Pushchino-on-Oka, December 18–26, 1999. Moscow: World Wildlife Fund Publ., 1999, pp. 103–142.
- [9] Kuzyakin A.P. *Zoogeografiya SSSR* [Zoogeography of the USSR]. Uch. zap. Mosk. obl. ped. in-ta im. N.K. Krupskoy [Training Notes of the Moscow Regional Pedagogical Institute named after N.K. Krupskaya]. Moscow: MOPI N.K. Krupskaya Publ., 1962, pp. 3–182, 109 p.
- [10] Ryabitsev V.K. *Ptitsy Urala, Priaral'ya i Zapadnoy Sibiri* [Birds of the Urals, the Aral Sea and Western Siberia]. Ekaterinburg: UrO RAN Publ., 2008, 634 p.
- [11] Gashev S.N. *Mlekopitayushchie v sisteme ekologicheskogo monitoringa (na primere Tyumenskoy oblasti)* [Mammals in the system of ecological monitoring (on the example of the Tyumen region)]. Tyumen: Tyumen State University Publ., 2000, 220 p.
- [12] Glazovskaya M.A. *Printsipy klassifikatsii pochv po ikh ustoychivosti k khimicheskomu zagryazneniyu* [Principles of classification of soils for their resistance to chemical pollution]. *Zemel'nye resursy mira, ikh ispol'zovanie i okhrana* [Land resources of the world, their use and protection]. Moscow: Nauka Publ., 1978, pp. 5–15.
- [13] Glazovskaya M.A. *Landshaftno-geokhimicheskie osnovy fonovogo monitoringa prirodnoy sredy* [Landshaftno-geochemical basis of background monitoring of the natural environment]. Moscow: Nauka Publ., 1989, 326 p.
- [14] Krauklis A.A. *Problemy eksperimental'nogo landshaftovedeniya* [Problems of experimental landscape studies]. Novosibirsk: Nauka Publ., 1979, 157 p.
- [15] Pykh Yu.A. *Ravnovesie i ustoychivost' v modelyakh populyatsionnoy dinamiki* [Equilibrium and stability in the models of population dynamics]. Moscow: Nauka Publ., 1983, 183 p.
- [16] Stepanyan L.S. *Konspekt ornitologicheskoy fauny Rossii i sopredel'nykh territoriy (v granitsakh SSSR kak istoricheskoy oblasti)* [A synopsis of the ornithological fauna of Russia and adjacent territories (within the borders of the USSR as a historical region)]. Moscow: Akademkniga [Academic Library Publ.], 2003, 808 p.
- [17] Gashev S.N. *Rabochee mesto ornitologa* [Ornithologist workplace]. Patent No. 2012620405 (registered in the Database Registry on May 3, 2012).
- [18] Yudkin V.A. *Ptitsy podtaezhnykh lesov Zapadnoy Sibiri* [Birds of the subtaiga forests of Western Siberia]. Novosibirsk: Nauka Publ., 2002, 488 p.
- [19] Belik V.P. *Faunogeneticheskaya struktura i svyazi zapadno-palearkticheskoy ornitofauny* [Faunogenetic structure and connections of the West Palearctic ornithofauna]. *Kavkazskiy ornitologicheskii vestnik* [Caucasian ornithological herald], 1992, iss. 3, pp. 19–52.
- [20] Belik V.P. *Tipologicheskoe delenie avifauny Palearktiki* [Typological division of avifauna Palearctic]. *Razvitie sovremennoy ornitologii v Severnoy Evrazii: Tr. XII Mezhdunar. ornitol. konf. Stavropol'* [Development of modern ornithology in Northern Eurasia: Proc. XII International Ornithological Conference]. Stavropol, January 31–February 5, 2006. Stavropol: SGU Publ., 2006, pp. 158–171.

## Author's information

**Boldyrev Stepan Leonidovich** — post-graduate student of the Department of Biology, Geography and Methods of their Teaching at Ishim Pedagogical Institute named after P.P. Yershov (branch of Tyumen State University), boldyrev.stepan@yandex.ru

Received 25.09.2017.

Accepted for publication 18.12.2017.

## ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА К ИЗУЧЕНИЮ СТИМУЛЯЦИИ ПРОРАСТАНИЯ СЕМЯН В ПОЧВАХ

Г.Н. Федотов<sup>1</sup>, М.Ф. Федотова<sup>2</sup>, В.С. Шалаев<sup>3</sup>, Ю.П. Батырев<sup>3</sup>, И.В. Горепекин<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>ООО «Почвенно-экологический центр МГУ имени М.В. Ломоносова» (ООО «Экотерра МГУ»), 119992, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 75 Б

<sup>3</sup>МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская область, г. Мы-тищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

gennadiy.fedotov@gmail.com

В течение длительного времени при разработке стимуляторов прорастания семян, способных повышать их посевные качества, семена рассматривали как относительно элементарный объект. Способ воздействия на семена выбирался в большинстве случаев эмпирически, а систему семян – воздействие рассматривали как «черный ящик». Такой подход, несмотря на его кажущуюся простоту и перспективность, не позволяет получать значимые и воспроизводимые положительные результаты. Цель работы — оценка выделения углекислоты различными составляющими надсистем субстрат — семена и изучение влияния предпосевной обработки семян стимулятором на выделение углекислоты компонентами надсистем. Проведены сравнительные исследования выделения углекислоты компонентами надсистем при помещении в субстрат живых и мертвых семян. Изучено выделение углекислоты семенами и микроорганизмами субстратов на песке, дерново-подзолистой почве, серой лесной почве, черноземе и каштановой почве. Установлено, что в песке вклад микроорганизмов субстрата в выделение углекислоты заметно ниже, чем в почвах, и составляет около 12 %. Показано, что обработка семян стимулятором приводит к активации развития микроорганизмов почв, включая патогены развития семян. Полученные данные свидетельствуют, что проведение в лабораторных условиях изучения эффективности применения стимуляторов по выделению системами углекислоты при использовании в качестве субстратов реальных почв не представляется возможным из-за большой доли углекислоты, выделяемой микроорганизмами почв, а использование препаратов-стимуляторов необходимо совмещать с применением фунгицидов. Подобные методические и экспериментальные подходы можно использовать для изучения семян лесохозяйственных культур.

**Ключевые слова:** стимулятор прорастания семян, живые и мертвые семена, потребление выделений из семян микроорганизмами почв, выделяющие углекислоту компоненты почвенной надсистемы

**Ссылка для цитирования:** Федотов Г.Н., Федотова М.Ф., Шалаев В.С., Батырев Ю.П., Горепекин И.В. Применение системного подхода к изучению стимуляции прорастания семян в почвах // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 2. С. 28–34. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-2-28-34

В течение длительного времени при разработке стимуляторов прорастания семян, способных повышать их посевные качества, семена рассматривали как относительно элементарный объект, на который воздействовали физически или обрабатывали различными веществами. Элементарность семян при подобном подходе состояла в отсутствии детального рассмотрения всех подсистем, входящих в семена. Как правило, ограничивались только строением зерновок. Не рассматривали также системы, в которые входят семена в качестве подсистемы при прорастании. Метод воздействия выбирали в большинстве случаев эмпирически [1–6], а систему семян — воздействие рассматривали как «черный ящик», не имея детальных представлений о механизмах происходящих процессов. Такой подход, несмотря на его кажущуюся простоту и перспективность, не позволял получать значимые и воспроизводимые положительные результаты.

Авторам работы [7] благодаря использованию высокопроизводительной методики, позволяющей получать результаты с ошибкой не более 5 % и

дающей возможность за короткий срок провести большой объем исследований, удалось выяснить, что на песчаном субстрате эндофитные микроорганизмы оказывают положительное влияние на развитие семян. Эти данные коррелировали с существующими представлениями о роли эндофитных микроорганизмов в жизни растений [8, 9]. Стало понятно, что не следует рассматривать семена, их развитие и действие на них стимуляторов в отрыве от состава и развития эндофитов семян.

Однако данный подход тоже нельзя считать исчерпывающим, так как здесь принимаются во внимание только микробиологические подсистемы семян. Очевидно, что необходимо рассматривать и надсистему (почву), включающую развивающиеся семена в качестве подсистемы, и взаимодействие семян с другими подсистемами почв, в первую очередь с почвенными микроорганизмами.

### Цель работы

Весьма важно учитывать влияние почвенных микроорганизмов на развитие семян, поскольку клеточные оболочки при созревании зерновок



частично разрушаются, что обеспечивает на начальном этапе прорастания семян выход в почву через дефекты в оболочках питательных веществ (сахаров, органических кислот и т. д.) [2], которые способны активировать развитие почвенных микроорганизмов в прилегающем к семенам слое почвы. Можно предположить, что подобное свойство семян не является случайностью или «ошибкой природы», а обусловлено эволюцией и направлено на активацию симбиотных семян микроорганизмов.

Таким образом, при изучении прорастания семян в почвах по выделению из системы углекислоты можно ожидать, что выделение углекислоты связано с:

- прорастающими семенами;
- размножающимися эпифитными и эндофитными микроорганизмами семян;
- микроорганизмами почв, развивающимися на выделенных из семян питательных веществах;
- микроорганизмами почв, не контактирующими с продуктами выделения семян.

Цель работы — оценка выделения углекислоты различными составляющими надсистемы и влияния предпосевной обработки семян стимулятором на выделение углекислоты компонентами надсистем [7].

## Материалы и методы

Для оценки выделения углекислоты прорастающими семенами было необходимо предотвратить (заметно снизить) выделение углекислоты другими частями надсистемы или исключить выделение углекислоты самими семенами. Второй путь проще, так как достаточно убить семена термообработкой [2] перед помещением их в почву. В этом случае основной вклад в выделение углекислоты из надсистемы должны вносить микроорганизмы почв, не получающие питательных веществ от семян, и микроорганизмы почв, развивающиеся на выделенных из семян питательных веществах. Сравнение этих данных с данными о выделении углекислоты почвами без семян и с живыми семенами, прорастающими в почве, дает возможность оценить доли углекислоты, выделяемой разными компонентами надсистемы. При подобном подходе микроорганизмы семян и выделение ими углекислоты может рассматриваться только совместно с семенами и разделить их нельзя, но представление о роли почвенных микроорганизмов получить можно. С учетом значительного превышения количества микроорганизмов почв над микроорганизмами семян можно ожидать не очень большого искажения результатов.

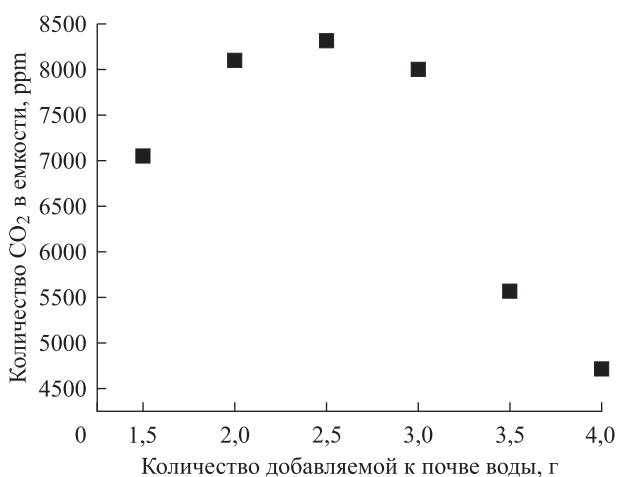
В опытах использовали семена озимого тритикале сорта Немчиновский-56.

Эксперименты проводили, помещая в стаканчик с диаметром дна 55 мм 10 г субстрата, на нем располагали ровным слоем 2,5 г семян и засыпали их 10 г субстрата, добавляя из пипетки необходимое количество воды, чтобы она достаточно равномерно увлажняла субстрат.

В качестве субстрата использовали: сухой отмытый речной песок с размером частиц 0,5...0,8 мм, дерново-подзолистую почву влажностью 22,5 %, серую лесную почву влажностью 21,6 %, чернозем влажностью 33,1 %, каштановую почву влажностью 19,3 %. Навеску воды подбирали для каждого субстрата по максимальному количеству углекислоты, выделяемому системой за двое суток. В качестве примера приведен график, полученный для дерново-подзолистой почвы (рис. 1), по которому хорошо видно, что при добавлении навески воды менее 2 г выделение углекислоты заметно снижается за счет уменьшения доступности воды для семян и биоты, а при добавлении навески воды более 3 г — за счет снижения для них доступа кислорода.

Оптимальные навески воды составляли для используемых субстратов: песка 5 г, дерново-подзолистой почвы 2,5 г, серой лесной почвы 4,5 г, чернозема 4,5 г, каштановой почвы 5 г.

После добавления воды стаканчики с семенами и субстратом ставили в стеклянную емкость объемом три литра, которую герметично закрывали. Использовали обычные стеклянные трехлитровые банки, закрывали их пластиком-



**Рис. 1.** Влияние количества добавляемой в стаканчик с 2,5 г семян озимого тритикале сорта Немчиновский-56 и с 20 г дерново-подзолистой почвы влажностью 22,5 % воды на изменение за двое суток концентрации углекислоты в трехлитровой емкости

**Fig. 1.** Influence of the amount added to the glass with 2,5 g of winter triticale seeds Nemchinovsky-56 and with 20 g of sod-podzolic soil with a moisture content of 22,5 % water per day for two days the concentration of carbon dioxide in a three-liter container

выми крышками с отверстиями, в которые плотно мог входить зонд измерителя углекислоты Testo-535. Отверстия в крышках затыкали изнутри резиновыми пробками так, чтобы их можно было выталкивать внутрь банок, вставляя зонд измерителя. Емкости термостатировали при температуре 22 °С в камере, в которую входила 21 емкость. Опыты повторяли семь раз с последующей статистической обработкой результатов. Ошибка не превышала 5 % при 95%-ном уровне значимости. В каждой камере один из образцов (7 емкостей) был контрольным. По нему проводили пересчет. Емкости в камере располагали в шахматном порядке, чтобы уменьшить влияние неоднородности распределения температуры. С этой же целью в камеру помещали вентилятор, перемешивающий воздух. Через 48 ч измеряли концентрацию CO<sub>2</sub> в емкостях и рассчитывали количество выделившегося CO<sub>2</sub> на 1 г семян.

Измерение концентрации углекислоты проводили прибором Testo-535, который позволяет определять концентрацию углекислого газа в газовой смеси при содержании 0–9999 ppm. Принцип работы прибора основан на поглощении лазерного излучения углекислотой, адсорбированной на поверхности зонда. Относительно большая площадь адсорбционной поверхности зонда приводит к усреднению колебаний концентрации углекислоты в сосуде, что заметно снижает ошибку метода по сравнению с отбором газовой смеси из сосуда шприцем и определением концентрации углекислоты в смеси при помощи хроматографа.

При проведении измерения зонд измерителя помещали в емкость на 5 мин до достижения равновесия углекислоты, находящейся в емкости, с углекислотой, адсорбированной на чувствительной части зонда. Ошибка опыта с вероятностью 95 % не превышала 5 %.

Данная методика обладает высокой производительностью, позволяет исследовать в одном опыте порядка 500 семян, что резко уменьшает ошибку экспериментов, связанную с разнокачественностью семян [2].

Состав стимулятора: 100 г/л автолизата пивных дрожжей (ООО «Биотех плюс», Россия), 16 г/л препарата «Бутон» (ООО «ПСК Техноэкспорт», Россия), содержащего натриевые соли гиббереллиновых кислот в количестве 20 г/кг, 5 г/л гумата калия (натрия) из бурого угля (5 г/л), (ООО НВЦ «Агротехнологии», Россия). Обработку семян суспензией данного стимулятора, проводили при расходе 20 л суспензии на 1 т семян. Для этого 40 г семян помещали в пластиковую лодочку размером 20×7 см, глубиной 4 см, добавляли навеску суспензии стимулятора 0,8 г и тщательно перемешивали примерно 1 мин до достижения равномерной окраски семян.

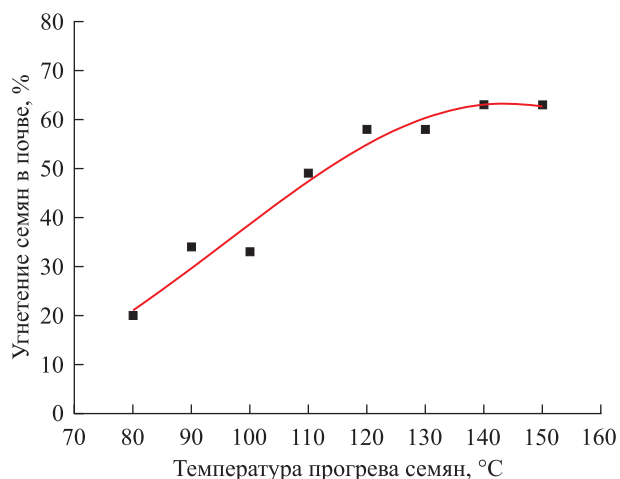
Изучено влияние обработки семян биофунгицидом «Фитоспорин-М» концентрации 100 г/л с расходом 20 л/т семян на изменение во времени длины проростков 7,5 г семян (~200 шт.) при их прорастании в дерново-подзолистой почве по сравнению с необработанными семенами. Опыты проводили, помещая на дно чашки диаметром 95 мм 30 г почвы, затем ровным слоем насыпали 7,5 г семян, а сверху — 30 г почвы. После этого в чашку равномерно добавляли из мерной пипетки 7,5 г воды. Площадь дна используемых чашек (как и навески почвы, семян и воды) была ровно в три раза больше площади дна используемых ранее стаканчиков.

Температурную обработку семян проводили, помещая их в разогретый до заданной температуры сухожаровой шкафа на 1 ч.

## Результаты и обсуждение

На первом этапе изучено выделение углекислоты почвами, не контактирующими с семенами, в которые не поступают питательные вещества из семян, а также влияние температурной обработки семян на выделение системой углекислоты.

Установлено, что выделение углекислоты за двое суток теми количествами почв, которые используются в опыте (20 г), чрезвычайно мало и не выходит за пределы ошибки эксперимента, поэтому вклад, вносимый этой частью надсистемы в общее выделение углекислоты надсистемой, можно не учитывать.



**Рис. 2.** Влияние температуры прогрева семян тритикале сорта Немчиновский-56 на снижение выделения углекислоты системой дерново-подзолистая почва – семена по сравнению с системой, содержащей семена, не подвергавшиеся термообработке

**Fig. 2.** Influence of the heating temperature of the triticale seeds Nemchinovsky-56 on the reduction of the release of carbon dioxide by the sod-podzolic soil system - seeds in comparison with the system containing seeds not subjected to heat treatment

Из полученной зависимости влияния температуры обработки семян (рис. 2) хорошо видно, что угнетение выделения системой (дерново-подзолистая почва — термообработанные семена) углекислоты по сравнению с системой, которая содержит семена, не подвергавшиеся термообработке, составляет чуть более 60 % максимум. При подъеме температуры наблюдается постепенное снижение выделения углекислоты, а при достижении температуры 120...130 °С выделение углекислоты изменяется незначительно, что можно трактовать как гибель всех биообъектов, способных дышать, т. е. — семян и находящихся на них микроорганизмов (полностью уничтожить микроорганизмы семян при термообработке не возможно, но численность их должна заметно снизиться). Поэтому дальнейшие сравнительные исследования с живыми семенами проводили на контрасте с мертвыми семенами, прогретыми при температуре 140 °С.

Изучено выделение углекислоты из надсистем (субстрат — семена), приготовленных на разных субстратах: одни содержат живые и мертвые семена, не обработанные стимулятором (табл. 1), другие — живые и мертвые семена, обработанные препаратом-стимулятором (табл. 2).

Из данных табл. 1 видно, что в песке вклад микроорганизмов субстратов в выделение углекислоты заметно ниже по сравнению с почвами и составляет около 12 %. В дерново-подзолистой почве этот вклад равен ~32 %, в серой лесной почве ~43 %, в черноземе и в каштановой почве — приблизительно по ~33 %. Следовательно, выделение углекислоты микроорганизмами почв заметно выше выделения углекислоты микроорганизмами песка, по-видимому, из-за меньшего их количества в последнем. При этом трудно говорить об эволюционной обусловленности выделения из семян питательных веществ [2], которые стимулируют симбиотные семенам микроорганизмы в почвах, так как количество выделяемой прорастающими семенами углекислоты во всех изученных почвах значительно меньше по сравнению с песком (см. табл. 1).

Как видно из табл. 1 и 2, для всех субстратов результаты схожи. Следовательно, при обработке семян препаратом-стимулятором он относительно больше активизирует дыхание систем, содержащих мертвые семена, а не живые. При этом активация препаратом-стимулятором микроорганизмов субстратов наблюдается во всех случаях (табл. 3), а выделение углекислоты самими семенами при их обработке препаратом-стимулятором в песке и дерново-подзолистой почве даже снижается.

Т а б л и ц а 1

**Выделение углекислоты семенами, не обработанными стимулятором, озимого тритикале сорта Немчиновский-56, в различных субстратах (почвах) за двое суток при 22 °С**  
**Exhalation of carbon acid by seeds not treated with a stimulant, winter triticale Nemchinovsky-56, in various substrates (soils) for two day sat 22 °C**

Субстрат (почва)	Выделение CO <sub>2</sub> надсистемой субстрат — семена, мг CO <sub>2</sub> на 1 г семян		Выделение CO <sub>2</sub> семенами при прорастании, мг CO <sub>2</sub> на 1 г семян (доля выделения системы, %)
	Живые семена	Мертвые семена	
Песок	10,0	1,25	8,77 (87,7)
Дерново-подзолистая почва	11,89	3,83	8,06 (67,8)
Серая лесная почва	11,48	4,90	6,58 (57,3)
Чернозем	10,31	3,46	6,85 (66,4)
Каштановая почва	11,27	3,68	7,59 (67,3)

Т а б л и ц а 2

**Выделение углекислоты семенами озимого тритикале сорта Немчиновский-56, обработанными стимулятором, в различных субстратах (почвах) за двое суток при 22 °С**  
**Exhalation of carbon acid by seeds of winter triticale Nemchinovsky-56, treated with a stimulator, in various substrates (soils) for two days at 22 °C**

Субстрат (почва)	Выделение CO <sub>2</sub> надсистемой субстрат — семена, обработанные стимулятором, мг CO <sub>2</sub> на 1 г семян		Выделение CO <sub>2</sub> только семенами при прорастании, мг CO <sub>2</sub> на г семян (доля выделения системы, %)
	Живые семена	Мертвые семена	
Песок	10,53	2,69	7,83 (74,4)
Дерново-подзолистая почва	12,47	5,97	6,50 (52,1)
Серая лесная почва	12,85	5,55	7,30 (56,8)
Чернозем	12,47	4,72	7,75 (62,1)
Каштановая почва	11,89	4,83	7,06 (59,4)

Т а б л и ц а 3  
Активация выделения углекислоты  
микроорганизмами и семенами  
(на основании данных, представленных  
в табл. 1 и 2), мг/г

Activation of carbon acid release  
by microorganisms and seeds  
(based on the data submitted in Table 1, 2), mg/g

Субстрат	Активация микроорганизмов почв		Стимуляция препаратом выделения CO <sub>2</sub>	
	выделениями из семян	выделениями из семян и стимулятором	микроорганизмами	семенами
Песок	1,25	2,69	+1,44	-0,94
Дерново-подзолистая почва	3,83	5,97	+2,14	-1,56
Серая лесная почва	4,90	5,55	+0,65	+0,72
Чернозем	3,46	4,72	+1,26	+0,90
Каштановая почва	3,68	4,83	+1,15	+0,53

## Выводы

Полученные данные свидетельствуют о том, что обработка семян стимулятором во всех случаях активизирует микроорганизмы почв, но не всегда оказывает положительное влияние на ускорение биохимических процессов в семенах. Последнее может быть связано с наличием в субстратах микроорганизмов-патогенов. При их активации стимулятором возможно снижение скорости биохимических процессов в семенах.

Подтвердилось предположение авторов о том, что, использование для обработки семян препаратов-стимуляторов оказывает влияние не только на семена, но и на микроорганизмы почв, а выделение углекислоты из систем субстрат — семена при прорастании последних связано с:

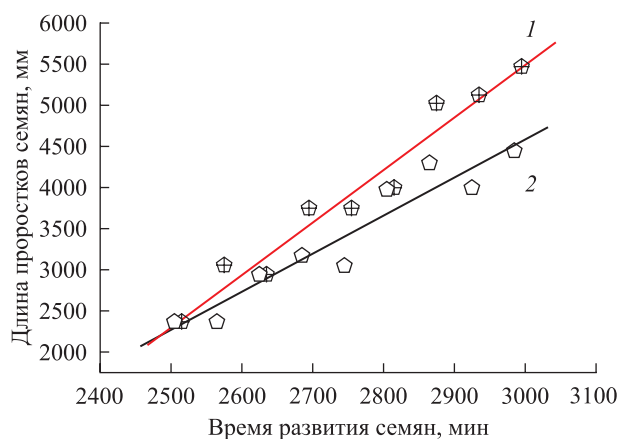
- прорастающими семенами;
- размножающимися эпифитными и эндофитными микроорганизмами семян;
- симбиотными, индифферентными и патогенными микроорганизмами почв, развивающимися на выделенных из семян питательных веществах и на веществах, входящих в состав препарата-стимулятора.

Проводить в лабораторных условиях изучение эффективности применения стимуляторов по выделению системами углекислоты при использовании в качестве субстратов реальных почв не представляется возможным из-за большой доли углекислоты, выделяемой микроорганизмами почв, и большего нарастания выделения угле-

кислоты микроорганизмами почв по сравнению с прорастающими семенами. При проведении подобных экспериментов увеличение выделения углекислоты может не отражать ускорения биохимических процессов, протекающих в семенах.

Активация стимуляторами в почвах микроорганизмов-патогенов развития семян может приводить к угнетению их развития. Особенно сильно подобные процессы могут развиваться на зараженных патогенами почвах или при использовании для посева зараженных семян.

Это предложение подтвердилось в опытах по изучению влияния обработки семян биофунгицидом «Фитоспорин-М» на их развитие в почвах. Обработанные фунгицидом семена в дерново-подзолистой почве развиваются значительно активнее (рис. 3).



**Рис. 3.** Влияние обработки семян тритикале сорта Немчиновский-56 раствором концентрации 100 г/л биофунгицида «Фитоспорин-М» (1) с расходом 20 л/т на увеличение длины проростков 7,5 г семян во времени в сравнении с увеличением длины проростков такой же навески необработанных семян (2) при их прорастании и развитии в дерново-подзолистой почве

**Fig. 3.** The effect of treating Nitchinovsky-56 triticale seeds with a solution of 100 g/l of «Fitosporin-M» biofungicide (1) at a rate of 20 liters per ton to increase the length of seedlings 7,5 grams of seeds in time in comparison with the increase in the length of seedlings of the same weights of untreated seeds (2) upon their germination and development in sod-podzolic soil

В связи с этим использование препаратов-стимуляторов необходимо совмещать с применением фунгицидов, в противном случае можно получить искаженные результаты об эффективности действия стимуляторов. Это касается стимуляции не только препаратами, но и различными физическими воздействиями, так как последние могут оказывать влияние на развитие семян не напрямую, а через изменение выделения из семян питательных веществ, используемых почвенными микроорганизмами, или через угнетение



(активацию) эпифитов или эндофитов семян. Данные предостережения относятся и к употреблению стимуляторов в реальных полевых условиях и к проведению модельных экспериментов при разработке состава препаратов-стимуляторов.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, проект № 37.8809.2017/8.9.*

## Список литературы

- [1] Дмитриев А.М., Страцкевич Л.К. Стимуляция роста растений / под ред. Н.Ф. Батыгина. Минск: Ураджай, 1986. 118 с.
- [2] Сечняк Л.К., Киндрук Н.А., Слюсаренко О.К., Иващенко В.Г., Кузнецов Е.Д. Экология семян пшеницы. М.: Колос, 1983. 349 с.
- [3] Алтухов И.В., Федотов В.А. Воздействие ИК-излучения различных длин волн на семена пшеницы // Ползуновский вестник, 2011. № 2/1. С. 156–159.
- [4] Кравец А.В., Бобровская Д.Л., Касимова Л.В., Зотикова А.П. Предпосевная обработка семян яровой пшеницы гуминовым препаратом из торфа // Вестник Алтайского государственного аграрного университета, 2011. № 4 (78). С. 22–24.
- [5] Balakhnina T., Bulak P., Nosalewicz M., Pietruszewski S., Wlodarczyk T. The influence of wheat *Triticum aestivum* L. seed pre-sowing treatment with magnetic fields on germination, seedling growth, and antioxidant potential under optimal soil watering and flooding // Acta Physiologiae Plantarum, 2015, v. 37, no. 3, p. 59.
- [6] Šerá B., Gajdvá I., Šerý M., Špatenka P. New physicochemical treatment method of poppy seeds for agriculture and food industries // Plasma Science and Technology, 2013, v. 15, no. 9, p. 935.
- [7] Федотов Г.Н., Шоба С.А., Федотова М.Ф. Разработка стимулятора для повышения посевных качеств семян на основе автолизата дрожжей // Вестник МГУ. Сер. 17 (Почвоведение), 2017. № 2. С. 3–12.
- [8] Чеботарь В.К., Щербаков А.В., Щербакова Е.Н., Масленникова С.Н., Заплаткин А.Н., Мальфанова Н.В. Эндофитные бактерии как перспективный биотехнологический ресурс и их разнообразие // Сельскохозяйственная биология, 2015. Т. 50. С. 648–654.
- [9] Ryan R.P., Germaine K., Franks A., Ryan D.J., Dowling D.N. Bacterial endophytes: recent developments and applications // FEMS Microbiol Lett, 2007, v. 278. pp. 1–9.

## Сведения об авторах

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

**Федотова Магдалина Федоровна** — специалист ООО «Почвенно-экологический центр МГУ имени М.В. Ломоносова» (ООО «Экотерра МГУ»), gennadiy.fedotov@gmail.com

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

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

**Горепекин Иван Владимирович** — студент факультета почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова, gennadiy.fedotov@gmail.com

Поступила в редакцию 28.09.2017.

Принята к публикации 20.12.2017.

## A SYSTEMATIC APPROACH APPLICATION TO THE STUDY OF SEED'S GERMINATION STIMULATION IN SOILS

G.N. Fedotov<sup>1</sup>, M.F. Fedotova<sup>2</sup>, V.S. Shalaev<sup>3</sup>, Yu.P. Batyrev<sup>3</sup>, I.V. Gorepekin<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>Soil-Ecological Center of Moscow State University (Ecoterra MSU), 119992, Moscow, Leninskie gory, 1, p. 75B

<sup>3</sup>BMSTU (Mytishchi branch), 1 st. Institut'skaya, 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

gennadiy.fedotov@gmail.com

For a long time, in the development of seed germination stimulants capable of raising their sowing qualities, the seeds were considered as a relatively elementary object. The method of influence on seeds was chosen in most cases empirically, and the system «seeds – impact» was considered as a «black box». This approach did not allow obtaining significant and reproducible positive results, despite its apparent simplicity and availability. The aim of this work was to assess the carbon dioxide extraction of various components of the meta-systems «substrate – seeds» and the study of the influence of pre-sowing seed treatment with stimulant on the allocation of carbon dioxide components of the meta-systems. For this, we carried out a comparative study of allocation of carbon dioxide components of the meta-systems when placed in a substrate of live and dead seeds. We have investigated the allocation of carbon dioxide seeds and microorganisms substrates on the sand, sod-podzolic soil, gray forest soil, black soil and chestnut soil. It is established that in sand in comparison with soils the contribution of microorganisms of the substrate to the release of carbon dioxide is significantly lower and is about 12 %. It is shown that seed treatment by stimulant leads to activation of soil microorganisms development, including seed development pathogens. The obtained data shows that the study of the effectiveness of stimulants for the release of carbon dioxide systems in the use of substrates in real soils is not possible due to the large proportion of carbon dioxide released by soil microorganisms, and the use of stimulant drugs necessarily need to be combined with the use of fungicides. Similar methodological and experimental approaches can be used to study the seeds of forest crops.

**Keywords:** stimulator of seed germination, the living and the dead seeds, the consumption of secretions from the seeds by microorganisms of soil, components of soil supersystem that emit carbon dioxide

**Suggested citation:** Fedotov G.N., Fedotova M.F., Shalaev V.S., Batyrev Yu.P., Gorepekin I.V. *Primenenie sistemnogo podkhoda k izucheniyu stimulyatsii prorastaniya semyan v pochvakh* [A systematic approach application to the study of seed's germination stimulation in soils]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 2, pp. 28–34. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-2-28-34

### References

- [1] Dmitriev A.M., Stratskevich L.K. *Stimulyatsiya rosta rasteniy* [Stimulation of plant growth]. Minsk: Uradzhay Publ., 1986, 118 p.
- [2] Sechnyak L.K., Kindruk N.A., Slyusarenko O.K., Ivashchenko V.G., Kuznetsov E.D. *Ekologiya semyan pshenitsy* [Ecology of wheat seeds]. Moscow: Kolos, 1983, 349 p.
- [3] Altukhov I.V., Fedotov V.A. *Vozdeystvie IK-izlucheniya razlichnykh dlin voln na semena pshenitsy* [The influence of IR radiation with different wavelengths on wheat seeds]. *Polzunovskiy vestnik*, 2011, no. 2/1, pp. 156–159.
- [4] Kravets A.V., Bobrovskaya D.L., Kasimova L.V., Zotikova A.P. *Predposevnyaya obrabotka semyan yarovoy pshenitsy guminovym preparatom iz torfa* [Presowing treatment of spring wheat seeds with humic preparation from peat]. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2011, no. 4 (78), pp. 22–24.
- [5] Balakhnina T., Bulak P., Nosalewicz M., Pietruszewski S., Wlodarczyk T. The influence of wheat *Triticum aestivum* L. seed pre-sowing treatment with magnetic fields on germination, seedling growth, and antioxidant potential under optimal soil watering and flooding. *Acta Physiologiae Plantarum*, 2015, v. 37, no. 3, p. 59.
- [6] Šerá B., Gajdová I., Šerý M., Špatenka P. New physicochemical treatment method of poppy seeds for agriculture and food industries. *Plasma Science and Technology*, 2013, v. 15, no. 9, p. 935.
- [7] Fedotov G.N., Shoba S.A., Fedotova M.F. *Razrabotka stimulyatora dlya povysheniya posevnykh kachestv semyan na osnove avtolizata drozhzhey* [Development of a stimulant to improve the sowing qualities of seeds based on yeast autolysate]. *Vestnik MGU*, ser. 17 (Pochvovedenie), 2017, no. 2, pp. 3–12.
- [8] Chebotar' V.K., Shcherbakov A.V., Shcherbakova E.N., Maslennikova S.N., Zaplatkin A.N., Mal'fanova N.V. *Endofitnye bakterii kak perspektivnyy biotekhnologicheskiy resurs i ikh raznoobrazie* [Endophytic bacteria as a promising biotechnological resource and their diversity]. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya*, 2015, v. 50, pp. 648–654.
- [9] Ryan R.P., Germaine K., Franks A., Ryan D.J., Dowling D.N. Bacterial endophytes: recent developments and applications. *FEMS Microbiol Lett*, 2007, v. 278, pp. 1–9.

### Authors' information

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

**Fedotova Magdalina Fedorovna** — Specialist of Soil Ecological Center of Moscow State University (Ecoterra MSU), gennadiy.fedotov@gmail.com

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

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

**Gorepekin Ivan Vladimirovich** — student of Lomonosov Moscow State University, gennadiy.fedotov@gmail.com

Received 28.09.2017.

Accepted for publication 20.12.2017.

## МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ РЫНОЧНЫХ ЦЕН ДРЕВЕСИНЫ НА КОРНЮ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ЭКОНОМИЧЕСКОГО МЕХАНИЗМА УСТОЙЧИВОГО УПРАВЛЕНИЯ ЛЕСАМИ

**Н.А. Моисеев**

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

forestvniilm@yandex.ru

Рассмотрены проблемы лесного сектора. Особое внимание уделено необходимости перехода к рыночным отношениям в области использования и воспроизводства лесных ресурсов. Определяющую роль играет отпуск леса по рыночным ценам на основе рентообразующих факторов в условиях конкурентных и монополизированных лесных рынков, а также формирование экономического механизма устойчивого пользования и управления лесами. Предложены научно обоснованные способы решения этих проблем.

**Ключевые слова:** лесная рента, рентообразующие факторы, рыночная цена древесины на корню

**Ссылка для цитирования:** Моисеев Н.А. Методические рекомендации по определению рыночных цен древесины на корню и совершенствованию экономического механизма устойчивого управления лесами // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 2. С. 35–40. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-2-35-40

Лесной доход является центральным звеном экономического механизма реализации устойчивого лесопользования, который строится на балансе экономических интересов основных субъектов лесных отношений. Основу же лесного дохода образуют лесная рента или чистый доход, который остается после вычета из рыночной цены реализуемых на рынках сбыта лесных товаров всей суммы затрат по сквозной технологической цепочке мероприятий, включая лесовыращивание, лесозаготовки, транспортировку и последующую обработку и переработку древесины до продукции «первого передела» (пиломатериалы, фанера, целлюлоза, древесные плиты и т. п.). Поэтому ренту называют еще разностным доходом, или остаточной стоимостью.

Способы же извлечения лесного дохода зависят от применяемой на практике системы управления лесами. В мировой практике выделяются две такие системы управления — американская и европейская. **Американская** система сводится к продаже древесины на корню по рыночным ценам на организуемых для этой цели торгах (аукционах) в условиях конкуренции (США) или по договорам на основе соглашений с лицензионными лесопользователями (Канада) [1]. **Европейская** же система (Финляндия, Германия, Австрия) заключается в продаже древесины не на корню, а в виде поставляемых на рынок сбыта заготовленных лесоматериалов. Например, в государственных лесах Финляндии лесничества осуществляют не только управление лесами, но и всю хозяйственную деятельность, включая заготовку древесины и ее продажу потребителям по предварительно заключаемым соглашениям.

В дореволюционной России при аналогичной нынешней капиталистической системе применялись обе системы: в частных лесовладениях древесина продавалась преимущественно на корню, в казенных лесах — в виде заготовленных лесоматериалов. Лидер отечественного лесопользования М.М. Орлов считал, что более выгодна продажа древесины не на корню, а в виде заготовленных самим владельцем лесоматериалов, так как при этом извлекается больший лесной доход в виде ренты, к тому же рубка леса осуществляется наиболее квалифицированно под руководством лесничего и его аппарата управления [2–4].

В постсоветской России при переходе к капиталистической рыночной экономике за последнюю четверть XX в. так и не удалось организовать передачу в долгосрочное пользование лесов по рыночным ценам арендаторам, на которых приходится до 80 % общего объема лесозаготовок в стране. При этом арендная плата никакого отношения к рыночным ценам не имеет. Она определяется административным путем и устанавливается директивно на так называемом минимальном уровне, что приводит к резкому снижению лесного дохода (он вдвое меньше расходов), а расходы не обеспечивают даже воспроизводства используемых лесных ресурсов. При этом сам чистый доход в виде ренты присваивается арендатором, о чем свидетельствует широко распространенная перепродажа лесов, уже переданных в аренду. Об этом в 2010 г. докладывал президенту России один из руководителей Рослесхоза А.И. Савинов, отмечая, что арендаторам передают леса в аренду в среднем по 30–50 руб./м<sup>3</sup>, а они перепродают его за 300–500 руб./м<sup>3</sup>, т. е. в 10 раз дороже [5, 6].

О необходимости устранения этого недостатка говорил в своем докладе 25.04.2017 на заседании оргкомитета по проведению Года экологии в России заместитель министра Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации, руководитель Рослесхоза В.И. Валентик, отмечая, что «многие наиболее экономически доступные участки находятся в пользовании у перекупщиков» и «средняя цена продажи древесины на корню такими «псевдоарендаторами» составляет около 500 руб. за кубометр», а «консолидированный бюджет ежегодно недополучает около 90 млрд руб.». В 2016 г. платежи за пользование лесов составили всего 29,7 млрд руб. «Самое главное, — подчеркнул Валентик, — ставки платы должны быть увязаны с рыночными ценами на лесоматериалы. Это мировая практика». Они, разумеется, должны быть экономически обоснованы [7].

## Цель работы

Для упорядочения лесопользования необходимо ограничить существующую монополию арендаторов только теми регионами, где отсутствует конкуренция на рынке древесины, предоставив место на конкурентных рынках малому и среднему бизнесу, который главенствовал ранее в лесопользовании, обеспечивая занятость местного населения и способствуя повышению его жизненного уровня. Главной формой предоставления лесов в рубку для данного бизнеса должна быть купля-продажа древесины на корню, на организуемых для этой цели торгах в условиях конкуренции.

Необходимо найти способы реализации методики определения рыночных цен древесины на корню и механизма устойчивого управления лесами.

## Материалы и методы

Методика определения рентных платежей за древесину на корню основана на учете рентообразующих факторов, к числу которых относятся:

- породно-размерно-качественные различия ресурсов леса;
- расположение лесов относительно рынков сбыта;
- условия лесоэксплуатации и ведения лесного хозяйства;
- платежеспособность потребителя на внутренних и внешних рынках.

Алгоритм определения лесной ренты для конкурентных лесных торгов, где главенствует форма купли-продажи древесины на корню:

$$P_{л(ЧД)} = P_{рын} - [(C_з + П_з) + (C_{тр} + П_{тр}) + (C_в + П_в)],$$

где  $P_{л(ЧД)}$  — рента или чистый доход;

$P_{рын}$  — рыночные цены реализуемых лесоматериалов на рынках сбыта;

$C_з$  — затраты на заготовку древесины;

$C_{тр}$  — затраты на доставку лесоматериалов до рынков сбыта;

$C_в$  — затраты на систему мероприятий по воспроизводству лесного ресурса;

$П_з, П_{тр}, П_в$  — нормативная прибыль от заготовки, транспортировки и воспроизводства лесного ресурса соответственно.

Стартовая цена древесины на корню  $П_{корн}$  — это сумма лесной ренты, себестоимости выращивания лесного ресурса ( $C_в$ ) и нормативной прибыли того подрядчика, который будет осуществлять воспроизводство лесного ресурса:

$$П_{корн} = P_{л} + C_в + П_в.$$

Для монополизированных рынков, занятых арендаторами в лице крупных корпораций, главной задачей которых является обработка и глубокая переработка древесины, лесная рента определяется с учетом рыночной цены продукции «первого передела» (пиломатериалы, фанера, целлюлоза, древесные плиты и т. п.):

$$P_{л} = (П_{пер} - C_{пер} - iK_{пер}) / m - (C_{заг} + C_{тр} + C_в) - (П_з + П_{тр} + П_в),$$

где  $П_{пер}$  — рыночная цена продукции первого передела;

$C_{пер}$  — нормозатраты на производство продукции первого передела;

$i$  — норма прибыли на основной и оборотный капитал на продукцию первого передела;

$K_{пер}$  — оборотный капитал на продукцию первого передела;

$m$  — расход древесного сырья на единицу продукции первого передела.

Нормативы текущих затрат, удельных капитальных вложений, расходы сырья на единицу продукции первого передела, а также нормативы затрат на лесовыращивание и транспортные тарифы разрабатываются и утверждаются по единой методике органами власти каждого субъекта Российской Федерации, принимающими решение о предоставлении лесных участков в долгосрочную аренду или краткосрочное пользование. К этому ранее уже призывал и президент России В.В. Путин: «...завершить подготовку нормативной базы для введения платы за пользование всеми видами природных ресурсов... При этом предусмотреть переход в основном к рентным платежам» [8].

В качестве стратегических задач он рекомендует предусмотреть «углубление и совершенствование экономического механизма природопользования» и «создание действенного механизма финансового обеспечения программ и мероприятий по воспроизводству и охране природных ресурсов» [8].



## Результаты и обсуждение

Экономический механизм реализации программы использования и воспроизводства лесных ресурсов строится на основе рационального распределения лесных платежей с учетом организации баланса экономических интересов основных субъектов лесных отношений. Затраты на воспроизводство используемых ресурсов в виде их себестоимости и норматива прибыли должны быть адресованы тем субъектам, на которых возложены обязанности по ведению лесного хозяйства, в том числе арендатору, а на неарендованной лесной площади — лесничеству, которое может осуществлять меры по воспроизводству лесных ресурсов через привлекаемых для этой цели подрядчика или специализированное лесохозяйственное предприятие (каковое должно быть образовано вместо упраздненного лесхоза) [9–11].

Что же касается самой лесной ренты, то законодательно она должна быть распределена между бюджетами разного уровня управления для финансирования приоритетных мероприятий. Отчисления для местного бюджета могут предусматривать социальную поддержку малого и среднего предпринимателя в области лесного бизнеса, в том числе по линии льготного кредитования. Отчисления в региональный бюджет могут предусматривать строительство лесных дорог и создание инфраструктурных объектов для охраны лесов от пожаров и защиты их от вредителей и болезней, а также от лесонарушений. За счет отчислений в федеральный бюджет должно финансироваться планируемое лесоустройство, приоритетные исследовательские работы, подготовка кадров и страховой фонд на случай чрезвычайных ситуаций в области охраны и защиты лесов.

Уже при подготовке проектов освоения лесов для арендаторов, в том числе для приоритетных инвестиционных проектов, должны быть предусмотрены транспортное освоение лесов, создание соответствующих предприятий по заготовке, обработке и переработке древесины и условия государственно-частного партнерства для реализации планируемого проекта, зафиксированного в виде конкурсного договора обеих сторон. Проектируемая транспортная сеть освоения лесов явится основой для выделения прилегающих к дорожной сети транспортно доступных лесов и их экономической оценки, а также для обоснования размещения поступающих в рубку насаждений на ближайшее десятилетие.

Все эти мероприятия должны быть составной частью лесного плана субъекта Российской Федерации и в рамках его лесных планов лесничеств, включая и мероприятия, планируемые на неарендованной лесной площади и выполняемые други-

ми категориями лесопользователей, в особенности специализированными лесохозяйственными предприятиями, а для малолесных районов — и самими лесничествами, роль которых в области лесного хозяйства должна возрастать.

## Дополнительные соображения по поводу лесных платежей и механизма их реализации

Лесные платежи и механизм их образования и последующего их использования тесно связаны между собой. Экономический механизм способствует наибольшей полноте реализации самих платежей ввиду заинтересованности в этом всех субъектов лесных отношений.

Сегодняшнее положение вещей, когда платежи в виде лесного налога в доминирующей его части (на 70...80 %) поступают в федеральный бюджет и затем распределяются независимо от экономических интересов самих субъектов лесных отношений, ставит последних в безразличное отношение к нему уже на стадии его образования и последующей реализации. Передача полномочий по управлению лесами, находящимися в федеральной собственности, субъектам Российской Федерации, обесценивает для этих субъектов данную передачу и она оказывается, по существу, формальной. Не заинтересован в полноте реализации лесных платежей и основной ныне субъект в области лесопользования — арендатор, так как он от этого ничего не получает. Наоборот, он заинтересован в том, чтобы «урвать» даже не принадлежащую ему по закону лесную ренту за счет первоочередной вырубке самых высокодоходных древостоев, как это до сих пор и происходит на практике в ущерб государству и национальным интересам, поскольку эти «сверхдоходы» прячутся в зарубежных банках. При этом, само лесное хозяйство становится убыточным, а леса расхищаются, так как необходимые для их воспроизводства средства уходят в теневой сектор.

Предлагаемый же новый порядок определения и распределения лесных платежей упорядочит лесопользование в стране и будет способствовать организации устойчивого управления лесами. Будет обеспечена и безубыточная деятельность всех видов лесопользователей и государственных органов управления лесами для организации интенсивного лесного хозяйства, поскольку их деятельность будет осуществляться только в границах экономически доступных лесов. Конкретная величина лесного дохода на ближайшее десятилетие определяется на основании экономической оценки древостоев в рамках расчетной лесосеки, отводимых под сплошную рубку, выбираемой части древостоев при выборочных рубках,

а также при санитарных рубках и коммерческих рубках ухода. Для данной оценки используются глазомерно-измерительные методы таксации с закладкой пробных площадей. Подсобным справочным материалом должны служить сортиментные и товарные таблицы для основных лесообразующих пород, которые надлежит разработать по отдельным лесорастительным районам.

Для определения же экономически доступной части расчетной лесосеки необходимо дать экономическую оценку спелым и приспевающим насаждениям по всем выделам, относящимся к каждой из хозяйственных секций в рамках соответствующих им хозчастей, поскольку от их представленности в общей совокупности насаждений всех возрастов зависит величина экономически доступной части расчетной лесосеки на ближайшие одно-два десятилетия. Для этой цели используют уже не посортиментные, а средневзвешенные корневые цены по однородным группам стволов по выделу каждого оцениваемого древостоя с учетом соотношения сортиментов для категорий деловых, полуделовых и дровяных деревьев соответствующих ступеней толщины, определяемых на пробных площадях при глазомерно-перечислительной таксации, с опорой на сортиментно-сортные таблицы.

Надо иметь в виду, что эта часть расчетов выполняется не только путем глазомерно-измерительной таксации, но и в процессе камеральных работ, обеспечивающих стратегическое лесное планирование по разным вариантам. Сюда относятся: необходимое для лесоустройства разделение устраиваемых лесов по тяготению к рынкам сбыта и обоснование хозчастей, а внутри них — деление лесов на хозсекции с подразделением последних на крупно- и мелкотоварные; планирование развития транспортной сети, определение транспортной доступности лесов, при необходимости дифференциация лесов по сезонам заготовки и зимним путям; анализ сортиментной структуры заготовки и потребления древесины и перспектив их сбалансирования. Все это требует предварительной разработки нормативной базы по определению рыночных цен древесины на корню с учетом затрат на строительство и эксплуатацию транспортной инфраструктуры, лесозаготовки, обработку и переработку древесины и ведение лесного хозяйства, включая лесовосстановление, охрану и защиту лесов.

Используя планируемую транспортную сеть, связанную с тяготением лесов к рынкам сбыта, можно дифференцировать величину платежей с учетом расстояния транспортировки и соответствующих затрат на вывозку лесоматериалов.

Перечисленные мероприятия позволят по каждой хозсекции и хозчасти определять по выделу средневзвешенную рыночную цену обезли-

ченного кубометра древесины на корню и ренту, при положительной величине которой данный выдел будет относиться к экономически доступным лесам. Выделы с отрицательной рентой будут относиться к экономически недоступным лесам. Выяснение площади и состава экономически доступных лесов дает возможность уточнить и экономически доступную часть расчетной лесосеки, общая величина которой определяется по лесоводственным характеристикам.

Возникает вопрос, какими способами можно добиться экономической доступности всех лесов управляемого объекта. Это меры по повышению продуктивности лесов, гидромелиорации, реконструкции малоценных лесов, а также по организации переработки низкокачественной древесины и древесных отходов, ранее не находивших сбыта. Их осуществление потребует инвестиций, обоснования соответствующих инвестиционных проектов и организации государственного частного партнерства.

Для этого понадобится дополнительный этап стратегического лесного планирования.

## Выводы

Сформулированы организационные вопросы реализации методики определения рыночных цен древесины на корню и механизма устойчивого управления лесами. Необходимо органически сочетать разные уровни (региональный и местный) лесопользования с учетом требований Федерального закона РФ от 28 июня 2014 г. № 172-ФЗ «О стратегическом планировании в Российской Федерации», в котором предусматривается согласованность всех видов планирования на разных уровнях управления, включая и межрегиональный, где разрабатывается стратегия развития всего лесного сектора отраслей как лесного кластера.

Региональный уровень лесопользования задает стратегические цели развития лесного хозяйства и лесопользования для местного, а также возможные пути реализации этих целей. Поскольку субъектам Российской Федерации переданы полномочия по управлению лесами, находящимися в федеральной собственности, то именно субъекты обязаны создать аналитические центры по разработке нормативной базы лесного планирования и экономической оценки древесины на корню с учетом региональных условий и рынков сбыта древесины и производимых из нее лесных товаров. Именно этой нормативной информацией в лесных департаментах бывших губерний пользовались работники лесопользования в до-революционной России при сходных условиях частно-капиталистической рыночной экономики для экономического обоснования разрабатываемых лесопользовательских планов.

Для координации всей этой нормативной работы при Рослесхозе в рамках Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации должен быть создан всероссийский аналитический центр с участием головных и региональных научно-исследовательских институтов, а также нынешнего ФГБУ «Рослесинфорг» и его филиалов.

Данная работа, с учетом необходимости восстановления самого лесоустройства, упраздненного Лесным кодексом 2006 г. [6], требует легализации на законодательном уровне. Законодательная инициатива 2006 г. должна исходить от Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации как федерального органа, ответственного за управление федеральными лесами в России. В рамках законодательной инициативы должен быть предложен и Федеральный закон о рентных платежах с поручением Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации представить методику их определения, проект которой изложен в данной статье.

### Список литературы

[1] Починков С. Американская система управления лесными ресурсами // Лесная газета, 23 декабря 2014 г. С. 1, 2.

- [2] Орлов М.М. Лесоуправление (Классики отечественного лесоводства) / под ред. М.Д. Гиряева, Д.М. Гиряева, А.И. Писаренко, С.А. Родина, В.П. Тарасенко М.: Лесная пром-сть, 2006. 480 с.
- [3] Орлов М.М. Лесоуправление как исполнение лесостроительного планирования. М.: Лесная пром-сть, 2006. 479 с.
- [4] Арнольд Ф.К. История лесоводства (репринтное издание 1895 г.). М.: МГУЛ, 2004. 403 с.
- [5] Лесной кодекс Российской Федерации. М.: Юридическая литература, 1997. 95 с.
- [6] Лесной кодекс Российской Федерации от 04.12.2006 № 200-ФЗ. М.: ИНЭКО, 2006. 48 с.
- [7] Чего хочет Рослесхоз // Лесная газета, 27 июля 2017 г. С. 1, 2.
- [8] Путин В.В. Минерально-сырьевые ресурсы в стратегии развития российской экономики // Россия в окружающем мире, 2000. Аналитический ежегодник / отв. ред. Н.Н. Марфенин; под общ. ред. Н.Н. Моисеева, С.А. Степанова. М.: МНЭПУ, 2000. 328 с.
- [9] Моисеев Н.А., Медведев Н.А., Петров А.П., Воронков П.Т., Починков С.В., Бурдин И.А. Концепция платежей за пользование участками лесного фонда. М.: ВНИИЛМ, 2001. 23 с.
- [10] Моисеев Н.А., Третьяков А.Г., Трейфельд Р.Ф. Лесоустройство в России. Исторический анализ лесоустройства в России и концепция его возрождения в условиях рыночной экономики. М.: МГУЛ, 2014. 268 с.
- [11] Санаев В.Г. Древесиноведение в системе лесного хозяйства. М.: МГУЛ. 2007. 180 с.

### Сведения об авторе

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

Принята к публикации 20.12.2017.

Поступила в редакцию 31.01.2018.

# METHODOLOGICAL RECOMMENDATIONS FOR THE DETERMINATION OF THE MARKET PRICES OF WOOD TO THE ROOT AND IMPROVEMENT OF THE ECONOMIC MECHANISM OF SUSTAINABLE FOREST MANAGEMENT

**N.A. Moiseev**

All-Russian Research Institute of Silviculture and Mechanizations of Forestry, 141200, Moscow region, Pushkino, Institutskaya st., 15  
forestvniilm@yandex.ru

The presented report examines the problems of the forest sector at this stage of development, and among them the urgent need for transition to market relations in the use and reproduction of forest resources. At the same time, the decisive role is played by the solution of the problem of forest release at market prices on the basis of rent-forming factors in competitive and monopolized forest markets, as well as the formation of an economic mechanism for sustainable use and management of forests. Scientifically substantiated ways of solving these problems and organizing them in practice are proposed.

**Keywords:** forest rent, rent-forming factors, market price of standing timber

**Suggested citation:** Moiseev N.A. *Metodicheskie rekomendatsii po opredeleniyu rynochnykh tsen drevesiny na kornyuu i sovershenstvovaniyu ekonomicheskogo mekhanizma ustoychivogo upravleniya lesami* [Methodological recommendations for the determination of the market prices of wood to the root and improvement of the economic mechanism of sustainable forest management]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 2, pp. 35–40. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-2-35-40

## References

- [1] Pochinkov S. *Amerikanskaya sistema upravleniya lesnymi resursami* [American system of forest resources management]. *Lesnaya gazeta*, December 23, 2014, pp. 1, 2.
- [2] Orlov M.M. *Lesoupravlenie (Klassiki otechestvennogo lesovodstva)* [Forest management (Classics of domestic forestry)]. Eds. M.D. Giryaev, D.M. Giryaev, A.I. Pisarenko, S.A. Rodin, V.P. Tarasenko Moscow: Lesnaya prom-st' [Forest Industry Publ. ], 2006, 480 p.
- [3] Orlov M.M. *Lesoupravlenie kak ispolnenie lesoustroitel'nogo planirovaniya* [Forest management, as the implementation of forest management planning]. Moscow: Lesnaya prom-st' [Forest Industry Publ.], 2006, 479 p.
- [4] Arnol'd F.K. *Istoriya lesovodstva (reprintnoe izdanie 1895 g.)* [History of forestry (reprint edition of 1895)]. Moscow: MGUL, 2004, 403 p.
- [5] *Lesnoy kodeks Rossiyskoy Federatsii* [Forest Code of the Russian Federation]. Moscow: Yuridicheskaya literatura [Legal Literature Publ.], 1997, 95 p.
- [6] *Lesnoy kodeks Rossiyskoy Federatsii ot 04.12.2006 № 200-FZ* [Forest Code of the Russian Federation № 200-FZ of 04.12.2006]. Moscow: INECO, 2006, 48 pp.
- [7] Chego khochet Rosleskhoz [What Rosleskhoz wants]. *Lesnaya Gazeta*, July 27, 2017, pp. 1, 2.
- [8] Putin V.V. *Mineral'no-syr'evye resursy v strategii razvitiya rossiyskoy ekonomiki* [Mineral resources in the development strategy of the Russian economy]. *Rossiya v okruzhayushchem mire* [Russia in the World], 2000. Analytical Yearbook. Ed. N.N. Marfenin; under the general ed. N.N. Moiseev, S.A. Stepanov. Moscow: MNEPU, 2000. 328 p.
- [9] Moiseev N.A., Medvedev N.A., Petrov A.P., Voronkov P.T., Pochinkov S.V., Burdin I.A. *Kontseptsiya platelye za pol'zovanie uchastkami lesnogo fonda* [The concept of payments for the use of forest fund plots]. Moscow: VNIILM, 2001, 23 p.
- [10] Moiseev N.A., Tret'yakov A.G., Treyfel'd R.F. *Lesoustroystvo v Rossii. Istoricheskiy analiz lesoustroystva v Rossii i kontseptsiya ego vozrozhdeniya v usloviyakh rynochnoy ekonomiki* [Forest management in Russia. Historical analysis of forest management in Russia and the concept of its revival in a market economy]. Moscow: MGUL, 2014, 268 p.
- [11] Sanaev V.G. *Drevesinovedenie v sisteme lesnogo khozyaystva* [Wood Science in the Forestry System]. Moscow: MSFU, 2007. 180 p.

## Author's information

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

Received 20.12.2017.

Accepted for publication 31.01.2018.



УДК 581.5

DOI: 10.18698/2542-1468-2018-2-41-46

## РАСТЕНИЯ С ДЕКОРАТИВНОЙ ОКРАСКОЙ ЛИСТЬЕВ В СОСТАВЕ КОЛЛЕКЦИЙ ОДР ГБС РАН

И.А. Бондорина, А.В. Кабанов, Н.А. Мамаева, А.А. Рябцева, Ю.А. Хохлачева

ФГБУН «Главный ботанический сад имени Н.В. Цицина Российской академии наук», 127276, г. Москва, Ботаническая ул., д. 4

bondo-irina@yandex.ru

В коллекционном фонде отдела декоративных растений Главного ботанического сада Российской академии наук (ОДР ГБС РАН) собрана крупнейшая коллекция декоративных растений. Среди коллекции можно выделить небольшое, но достаточно репрезентативное собрание декоративно окрашенных культиваров, позволяющее проследить историю селекционного процесса по отдельным культурам. Долгое время при формировании коллекционного фонда включение в него цветнолистных форм не было приоритетным. Однако в составе коллекционного фонда отдела сложилась выборка видов, форм и сортов, представляющая современный сортимент декоративных растений разных групп окраски листовых пластин. За период существования коллекционного фонда ОДР ГБС РАН собраны уникальные коллекции цветнолистных форм по родам *Hosta*, *Heuchera*, *Heucherella*. В коллекции представлены ретросорта культур *Hosta*, *Ligularia*, *Brunnera*, показывающие микроэволюцию по признаку «декоративная окраска листьев», а также современная селекция на цветнолистность по культурам *Astilbe*, *Heliopsis*, *Phlox*, *Dahlia*. Выявлены пути дальнейшего формирования коллекционного фонда ОДР ГБС РАН по таким приоритетным культурам, как представители семейств *Рoaceae*, *Друоpтерidaceae*, *Сурегасеae*. Активно комплекуются цветнолиственными формами родовые коллекции *Pulmonaria*, *Brunnera*. Данная группа растений интересна для интродукционного изучения ввиду ее родового и видового разнообразия, а также сложной реакции ряда образцов при выращивании.

**Ключевые слова:** цветнолистные растения, коллекционный фонд, отдел декоративных растений, интродукция

**Ссылка для цитирования:** Бондорина И.А., Кабанов А.В., Мамаева Н.А., Рябцева А.А., Хохлачева Ю.А. Растения с декоративной окраской листьев в составе коллекций ОДР ГБС РАН // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 2. С. 41–46. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-2-41-46

Создание и поддержание коллекционных фондов — главная функция ботанического сада. При этом формирование коллекций проводится в соответствии с комплексом определенных мероприятий, основанных на системном научном подходе.

Существуют классические методы интродукционных исследований [1–6], принципы создания коллекций [7, 8]. Их экстраполяция на ту или иную культуру является научной базой формирования, поддержания и развития коллекционных фондов.

### Цель работы

Цель данной работы — провести анализ коллекции декоративных растений коллекционного фонда отдела декоративных растений (ОДР) Главного ботанического сада Российской академии наук (ГБС РАН).

### Материалы и методы

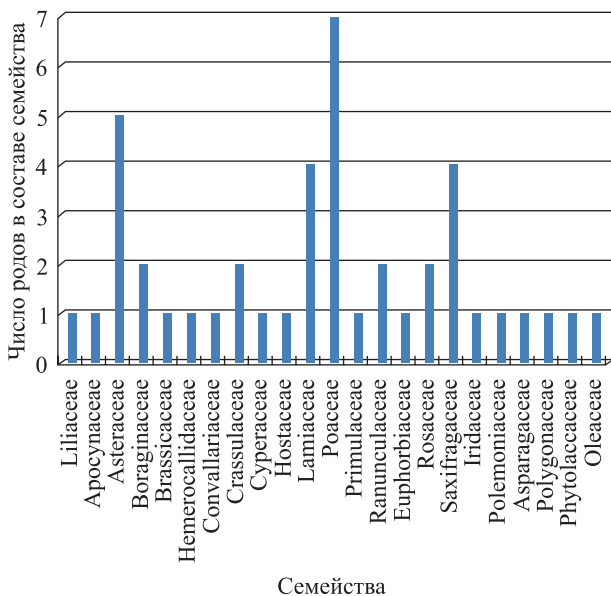
Коллекционный фонд отдела декоративных растений ГБС РАН представлен в основном собраниями родовых комплексов [9]. В его составе а priori доминируют коллекции цветочно-декоративных растений. При этом фонд складывается как из коллекций монокультур (в основном крупных), так и из сборных коллекций, содержащих большое количество наименований. Хотя при формировании крупных коллекций цветочно-де-

коративных растений в ОДР ГБС РАН отбор декоративно-лиственных форм не был приоритетным, собрания культур с декоративной окраской листьев также являются его составной частью.

Базовый подход к формированию и расширению собраний декоративно-лиственных многолетников, в частности цветнолистных, в ОДР ГБС РАН традиционный: метод родовых комплексов [1]. При этом выбор потенциально перспективных интродуцентов определяется в первую очередь климатическими условиями пункта интродукции [10], а при формировании выборки сортов обязательно учитываются тенденции мировой селекции культуры. Структурирование собрания сортов декоративно-лиственных многолетников, как и цветочно-декоративных культур, осуществляется согласно современным специализированным классификациям.

### Результаты и обсуждение

К 2017 г. в составе коллекционного фонда ОДР ГБС РАН сложилась выборка культиваров с декоративноокрашенными листьями, включающая виды, разновидности, формы и сорта, которые относятся к 44 родам из 23 семейств. При этом наибольшее число родов относится к четырем крупным семействам: *Рoaceae*, *Asteraceae*, *Laminaceae* и *Saxifragaceae* (рис. 1).



**Рис. 1.** Представленные в коллекционном фонде ОДР ГБС РАН семейства, содержащие цветнолистные формы  
**Fig. 1.** The families represented in the collection fund of the SDE of the HBS of the Russian Academy of Sciences, containing color-bearing forms

Несмотря на то что декоративно окрашенные формы травянистых растений давно представлены в мировой культурной флоре, при формировании коллекционных фондов ОДР ГБС РАН долгое время принцип максимального включения культиваров с необычной окраской листьев не был приоритетным, за исключением представителей отдельных родов — *Ajuga* L., *Hosta* L., *Heuchera* L., *Pulmonaria* L., *Brunnera* C. Steven. Другие роды были представлены единичными образцами. При этом ряд культиваров в составе коллекций ОДР находится достаточно продолжительное время, некоторые (например, *Ligularia dentata* (A. Gray) Nara Othello) — с момента создания коллекционных фондов отдела [11]. Распределение форм с декоративноокрашенными листьями в современных коллекциях ОДР приведено в таблице.

В настоящее время (2017 г.) категория цветнолистных интродуцентов в ОДР ГБС РАН представлена несколькими родовыми комплексами, типичными из которых являются роды *Hosta* L. и *Heuchera* L. В состав коллекции *Hosta* входят 8 видов и 91 сорт, *Heuchera* — 10 видов и 20 сортов.

Сорта в составе современной коллекции *Hosta* L. подразделяют, согласно классификациям, разработанным Американским обществом любителей хост (American Hosta Growers Association), по высоте растений (базовый морфологический признак), а также по окраске (рис. 2), форме, фактуре и текстуре листовых пластинок. Кроме того, при формировании выборки сортов учтено наличие у них способности к изменению пигментации листьев в течение вегетационного периода.

Т а б л и ц а  
**Распределение цветнолистных форм в составе современного коллекционного фонда ОДР ГБС РАН**  
**Distribution of color-bearing forms as a part of the modern collection DDP Fund of the MBG RAS**

Род	Формы естественного происхождения, количество видов и разновидностей	Культивируемые формы, количество сортов
<i>Tulipa</i>	0	11
<i>Phlox</i>	0	2
<i>Vinca</i>	0	1
<i>Dahlia</i>	0	13
<i>Artemisia</i>	2	4
<i>Pulmonaria</i>	1	2
<i>Brunnera</i>	0	4
<i>Arabis</i>	0	1
<i>Polygonatum</i>	0	1
<i>Sedum</i>	4	12
<i>Sempervivum</i>	5	17
<i>Carex</i>	0	3
<i>Euphorbia</i>	0	2
<i>Hemerocallis</i>	1	0
<i>Hosta</i>	0	89
<i>Ajuga</i>	0	5
<i>Lamium</i>	1	3
<i>Mentha</i>	0	1
<i>Thymus</i>	0	2
<i>Arrhenatherum</i>	0	1
<i>Glyceria</i>	0	1
<i>Miscanthus</i>	1	4
<i>Molinia</i>	0	1
<i>Alopecurus</i>	0	1
<i>Calamagrostis</i>	0	1
<i>Phalaroides</i>	0	3
<i>Lysimachia</i>	0	4
<i>Cimicifuga</i>	0	1
<i>Clematis</i>	0	2
<i>Iris</i>	1	0
<i>Filipendula</i>	1	1
<i>Sanguisorba</i>	0	1
<i>Saxifraga</i>	0	1
<i>Astilbe</i>	0	3
<i>Heuchera</i>	0	12
<i>Heucherella</i>	0	19
<i>Ligularia</i>	0	4
<i>Spartina</i>	0	1
<i>Heliopsis</i>	0	2
<i>Fallopia</i>	0	1
<i>Solidago</i>	0	1
<i>Phytolacca</i>	0	1
<i>Syringa</i>	1	0
<i>Rosa</i>	0	1
<i>Malus</i>	0	9

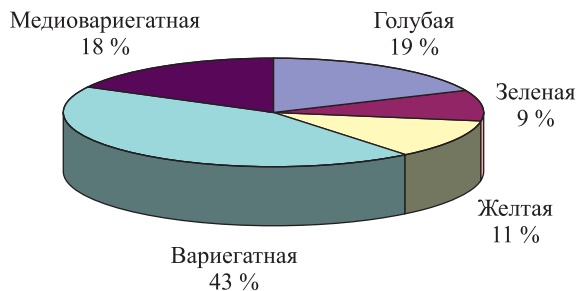


Рис. 2. Распределение сортов *Hosta* L. по окраске листовых пластинок

Fig. 2. Distribution of *Hosta* L. varieties according to the color of leaf blades

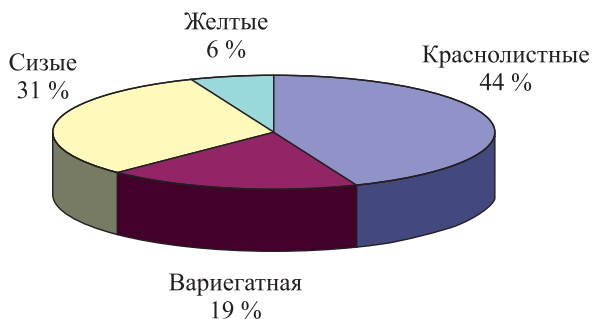


Рис. 6. Распределение сортов *Sedum* L. по окраске листовых пластинок

Fig. 6. Distribution of *Sedum* L. varieties according to the color of leaf blades



Рис. 3. Распределение сортов *Heuchera* L. по окраске листовых пластинок

Fig. 3. Distribution of *Heuchera* L. varieties according to the color of leaf blades



Рис. 4. Распределение сортов *Heucherella* Wehrh. по окраске листовых пластинок

Fig. 4. Distribution of varieties *Heucherella* Wehrh. according to the color of leaf blades



Рис. 5. Распределение сортов *Sempervivum* L. по окраске листовых пластинок

Fig. 5. Distribution of *Sempervivum* L. varieties according to the color of leaf blades

Идентичные принципы формирования заложены в основу коллекции представителей родов *Heuchera* L. и *Heucherella* Wehrh. (рис. 3, 4).

Значительное количество форм с декоративной окраской листьев входит в состав собраний представителей родов *Sempervivum* L. и *Sedum* L. (рис. 5, 6).

В состав других коллекций ОДР также входят интересные цветнолистные формы. Золотистые формы (часто называемые «Aurea») представлены в составе большинства коллекций единичными наименованиями. Отметим, что визуально они достаточно эффектно, но к середине лета пигментация часто бледнеет и листья растения приобретает светло-зеленую окраску. Золотистые формы представлены у таких родов, как *Filipendula* (*Filipendula ulmaria* (L.) Maxim. – природная золотистая форма растений, собранных в окрестностях Москвы), *Astilbe* (*Astilbe x hybrida* hort. ex Ievinya & Lusinya Color Flash Lime), *Clematis* (*Clematis alpina* Stolwijk Gold). Этот тип окраски также широко распространен у родов *Betula* L., *Ligustrum* L., *Cornus* L., *Acer* L., *Tilia* L., *Physocarpus* (Camb.) Raf., *Sorbus* L., *Spiraea* L., *Philadelphus* L., *Fraxinus* L. Но им всем свойственна неустойчивость пигментации (в условиях недостаточной освещенности листья зеленеют) [12].

Более широко в коллекциях отдела представлены вариегатные формы. В ряде случаев они достаточно декоративны, а главное, стабильны: желто-пестрые формы у родов *Solidago* (*Solidago flexicaulis* L. Variegata), *Phytolacca* (*Phytolacca Americana* L. Silberstein); бело-пестрые формы *Filipendula* (*Filipendula ulmaria* (L.) Maxim. Variegata). Менее стабильна бело-пестрая форма у *Sanguisorba menziesii* Rudb. Daly Marble, которая характеризуется очень поздним и по сравнению с природным видом сроками цветения. Представитель рода *Iris* L. (*Iris pseudacorus* L. f. variegata), хотя и обладает высокой декоративностью, отличается нестабильным (реализуется

в фенотипе только в начале сезона вегетации) изменением пигментации листьев и замедленными, по сравнению с исходной формой, темпами разрастания куртины. У *Phlox paniculata* L. сорт Elizabeth жизнеспособность значительно ниже, чем у зеленолистных форм, отмечаются замедленный темп вегетативного размножения и частые реверсии. Для бело-пестрых форм представителей рода *Hemerocallis* (*Hemerocallis fulva* (L.) L. *Variegata*) при их достаточно высокой декоративности также характерна нестабильность проявления признака пестролистности при вегетативном размножении. Но снижения устойчивости в культуре и способности к вегетативному размножению (по сравнению с формами без нарушения синтеза хлорофилла) не отмечено. У цветнолистных форм в составе таких родов, как *Vinca* L., *Thymus* L., *Sempervivum* L., *Euphorbia* L., *Brunnera*, снижения жизнеспособности и темпов размножения (при соблюдении необходимых агротехнических мероприятий) также не зафиксировано. Стоит отметить достаточно низкую декоративность у вариегатных сортов *Heliopsis scabra* Dunal (*Variegata*). Среди декоративных древесно-кустарниковых растений пестролистные формы и сорта часто являются широко распространенными, например, в составе родов *Ulmus* L., *Quercus* L., *Salix* L., *Viburnum* L., *Acer*, *Ribes* L. и видов *Berberis thunbergii* DC, *Cornus alba* L. Типичное исключение — род *Syringa* L., представленный одним пестролистным культиваром *Aucubaefolia*.

Формы с антоциановой окраской листовой пластины представлены в составе коллекционного фонда ОДР в основном у родов *Dahlia* (*Dahlia x hybrida* Cav. Bishop of Dover, Bishop of Leicester, Bishop of Llandaff, Bishop of York, Bishops Children, Engelhardt's Matador, Purple Puff, Киев вечерний, Оксфорд, Осеннее золото, Осень в Софиевке, сеянцы ГБС Огни Москвы, Кагор) и *Clematis* (*Clematis recta* Purpurea, *C. tangutica x integrifolia* My Angel). По таким хозяйственноценным признакам, как устойчивость в культуре, жизнеспособность и темпы вегетативного размножения, они не уступают зеленолиственным сортам. При этом окраска листовых пластинок при вегетативном размножении сохраняется стабильно. В то же время у ряда таксонов отмечается постепенное снижение интенсивности окрашивания листовых пластинок в летний период — например, у ретросортов *Ligularia*.

В составе коллекции древесных растений ОДР ГБС РАН формы и сорта с антоциановой окраской листьев типичны для рода *Malus* L. (например, *M. niedzwetzkyana* Dieck и сорт *Royalty*).

Среди декоративно-лиственных растений в составе активно развивающихся собраний ОДР ГБС РАН выделяется коллекция декоративных злаков, включающая (по данным на ноябрь 2017 г.) 12 родов, 10 природных видов и 20 сортов. Интродукционная работа с этим собранием в ОДР ГБС РАН долгое время не носила систематического характера [13]. Злаки входили в коллекцию мало-распространенных многолетников и были представлены незначительным числом природных видов, а также единичными сортами [11, 14, 15]. К настоящему моменту (2017 г.) отобран перспективный ассортимент цветнолистных культиваров: *Miscanthus sinensis* (Thunb.) Andersson (*Zebrinus*, *Strictus*, *Variegatus*, *Little Zebra*), *Phalaroides arundinacea* L. (*Luteopicta*, *Feezey*), *Arrhenather umelatus* (L.) J. et C. Presl (*Variegatum*), *Alopecurus pratensis* L. (*Aureovariegatus*), *Molinia caerulea* (L.) Moench (*Variegata*).

## Выводы

Несмотря на то что декоративно окрашенные растения традиционно не являются приоритетными в интродукционных исследованиях ОДР ГБС РАН в составе коллекционного фонда отдела сложилась выборка видов, форм и сортов, представляющая большинство существующих в современном сортименте декоративных растений разных групп окраски листовых пластинок.

## Список литературы

- 1] Русанов Ф.Н. Новые методы интродукции растений // Бюл. ГБС АН СССР, 1950. Вып. 7. С. 27–36.
- 2] Кульгасов М.В. Эколого-исторический метод в интродукции // Бюл. ГБС АН СССР, 1953. Вып. 15. С. 24–39.
- 3] Былов В.Н. Основы сравнительной сортооценки декоративных растений при интродукции: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М., 1976. 43 с.
- 4] Карписонова Р.А. Фитоценотический метод интродукции растений // Тез. докл. VIII Конгресса дендрологов и декораторов социалистических стран / отв. ред. П.И. Лапин. Тбилиси, 1982. С. 221.
- 5] Скворцов А.К. Внутривидовая изменчивость и новые подходы к интродукции растений // Бюл. ГБС АН СССР, 1986. Вып. 140. С. 18–25.
- 6] Декоративные многолетники (краткие итоги интродукции). М.: АН СССР, 1960. С. 309–312.
- 7] Бакарова В.В. Цветочно-декоративные многолетники открытого грунта. Киев: Наукова думка, 1984. 156 с.
- 8] Карписонова Р.А., Демидов А.С. Принципы создания и изучения коллекций декоративных растений ГБС РАН // Информ. бюл. Совета ботанических садов России, 1997. Вып. 7. С. 25–31.
- 9] Травянистые декоративные многолетники Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина Российской академии наук. 60 лет интродукции / отв. ред. А.С. Демидов. М.: Наука, 2009. 396 с.
- 10] Карпун Ю.Н. Основы интродукции растений. СПб.: СПбГУ, 2002. 31 с.
- 11] Декоративные многолетники: краткие итоги интродукции в Главном ботаническом саду АН СССР / предисл. акад. Н. В. Цицина. М.: Наука, 1960. С. 49–68.



- [12] Бондорина И.А., Сапелин А.Ю. Декоративно-лиственные растения и кустарники для климатических условий России. Москва: Кладезь-Букс, 2004. 143 с.
- [13] Кабанов А.В. Перспективные декоративные злаки для городского озеленения. Проблемы современной дендрологии, цветоводства и садово-паркового строительства // Матер. Заочной междунар. научн. конф., посвященной 95-летию со дня рождения д-ра биол. наук, проф. В.И. Ткаченко и 100-летию со дня рождения канд. биол. наук Л.С. Кривошеевой. Ботанический сад им. Э.З. Гареева Национальной академии наук Киргизской Республики, г. Бишкек (Кыргызстан), 25 сентября 2014 г., Бишкек: Ботанический сад им. Э.З. Гареева НАН КР, 2014. С. 78–82.
- [14] Цветочно-декоративные травянистые растения. Краткие итоги интродукции / отв. ред. В.Н. Былов. М.: Наука, 1983. С. 103–111, 246–249.
- [15] Каталог коллекций отдела декоративных растений. Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина Российской академии наук. Отдел декоративных растений / сост. Л.И. Бумбеева. М.: АЛЕС, 2000. 172 с.

## Сведения об авторах

**Бондорина Ирина Анатольевна** — д-р биол. наук, заведующая отделом декоративных растений ФГБУН «Главный ботанический сад имени Н.В. Цицина РАН», bondo-irina@yandex.ru

**Кабанов Александр Владимирович** — канд. биол. наук, старший научный сотрудник ФГБУН «Главный ботанический сад имени Н.В. Цицина РАН», alex.kabanow@rambler.ru

**Мамаева Наталья Анатольевна** — старший научный сотрудник ФГБУН «Главный ботанический сад имени Н.В. Цицина РАН», mamaeva\_n@list.ru

**Рябцева Анна Андреевна** — агроном ФГБУН «Главный ботанический сад имени Н.В. Цицина РАН», riabceva-anna@rambler.ru

**Хохлачева Юлия Анатольевна** — научный сотрудник ФГБУН «Главный ботанический сад имени Н.В. Цицина РАН», jusic-la@yandex.ru

Поступила в редакцию 19.10.2017.

Принята к публикации 27.12.2017.

## PLANTS WITH DECORATIVE COLORING OF LEAVES AS A PART OF COLLECTIONS OF DDP OF THE MBG RAS

**I.A. Bondorina, A.V. Kabanov, N.A. Mamaeva, A.A. Ryabtseva, Yu.A. Khokhlacheva**

The Main Botanical Garden named after N.V. Tsitsin of the RAS, Botanicheskaya str., 4, Moscow, 127276, Russia

bondo-irina@yandex.ru

In the collection fund of the Department of Decorative plants of the Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences (DDP MBG RAS), the largest collection of ornamental plants was collected. Among the collection there can be identified a small, but nevertheless quite representative collection of decorative stained cultivars, allowing to trace the history of the selection process for individual crops. For a long time in the formation of the collection fund, the inclusion of color-bearing forms in it was not a priority. However, at present, a selection of species, forms and varieties has formed in the collection of the department's collection, among which the majority of decorative panels of various groups of colors of sheet plates existing in the modern assortment has been rearranged. During the existence of the collection fund of the Department of Decorative Plants of the MBG RAS, unique collections of color-bearing forms were collected for such genera as *Hosta*, *Heuchera*, *Heucherella*. The collection presents retro-varieties of such cultures as *Hosta*, *Ligularia*, *Brunnera* and others, showing microevolution on such a feature as decorative coloring of leaves. More is represented in the modern selection of color-leaved plants for such crops as *Astilbe*, *Heliopsis*, *Phlox*, *Dahlia*. The ways of further formation of the collection fund of the Department of Decorative Plants of the MBG RAS for such priority crops as representatives of the families Poaceae, Dryopteridaceae, Cyperaceae are revealed. The generic collections of *Pulmonaria*, *Brunnera* are actively completed with color-leaved forms. It is worth noting that this plant group is interesting for introductory study, due to generic and species diversity, as well as the complex reaction of a number of samples during cultivation.

**Keywords:** color-bearing plants, collection fund, department of ornamental plants, introduction

**Suggested citation:** Bondorina I.A., Kabanov A.V., Mamaeva N.A., Ryabtseva A.A., Khokhlacheva Yu.A. *Rasteniya s dekorativnoy okrasкой list'ev v sostave kollektiy ODR GBS RAN* [Plants with decorative coloring of leaves as a part of collections of DDP of the MBG RAS]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 2, pp. 41–46. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-2-41-46

## References

- [1] Rusanov F.N. *Novye metody introduktsii rasteniy* [New methods of introduction of plants]. *Bul. GBS AN SSSR* [Bulletin of the Main Botanical Garden of the USSR Academy of science], 1950, v. 7, pp. 27–36.
- [2] Kul'tiasov M.V. *Ekologo-istoricheskiy metod v introduktsii* [Ecological-historical method in introduction]. *Bul. GBS AN SSSR* [Bulletin of the Main Botanical Garden of the USSR Academy of Sciences], 1953, v. 15, pp. 24–39.

- [3] Bylov V.N. *Osnovy sravnitel'noy sortootsenki dekorativnykh rasteniy pri introduksii*. [Basis of comparative assessment of ornamental plants during introduction]. Avtoref. dis. ... d-ra biol. nauk [Author's abstract. diss. ... Dr. Sci. (Biol.)]. Moscow, 1976, 43 p.
- [4] Karpisonova R.A. *Fitotsenoticheskiy metod introduksii rasteniy* [Phytocenotic method of plant introduction]. Tez. dokl. VIII Kongressa dendrologov i dekoratorov sotsialisticheskikh stran [Abstracts of the VIII Congress of dendrologists and decorators of the socialist countries]. Tbilisi, 1982, p. 221.
- [5] Skvortsov A.K. *Vnutrividovaya izmenchivost' i novye podkhody k introduksii rasteniy* [Intraspecific variability and new approaches to plant introduction]. Bul. GBS AN SSSR [Bulletin of the Main Botanical Garden of the USSR Academy of Sciences], 1986, v. 140, pp. 18–25.
- [6] *Dekorativnye mnogoletniki (kratkie itogi introduksii)* [Decorative perennials (brief results of introduction)]. Moscow: AN SSSR Publ., 1960, pp. 309–312.
- [7] Bakarova V.V. *Tsvetochno-dekorativnye mnogoletniki otkrytogo grunta* [Flower-decorative perennials of open ground]. Kiev: Naukova dumka Publ., 1984, 156 p.
- [8] Karpisonova R.A., Demidov A.S. *Printsipy sozdaniya i izucheniya kollektiy dekorativnykh rasteniy GBS RAN* [Principles of creation and study of collections of decorative plants of the MBG RAS]. Informatsionnyy byulleten Soveta botanicheskikh sadov Rossii [Newsletter of the Council of Botanical Gardens of Russia]. Moscow, 1997, v. 7, pp. 25–31.
- [9] *Travyanistye dekorativnye mnogoletniki Glavnogo botanicheskogo sada im. N.V. Tsitsina Rossiyskoy akademii nauk. 60 let introduksii* [Herbaceous decorative perennials of the Main Botanical Garden named after N.V. Tsitsina of the Russian Academy of Sciences. 60 years of introduction]. Ed. A.S. Demidov. Moscow: Nauka Publ., 2009, 396 p.
- [10] Karpun Yu.N. *Osnovy introduksii rasteniy* [Fundamentals of plant introduction]. Saint-Petersburg: SPGU Publ., 2002, 31 p.
- [11] *Dekorativnye mnogoletniki: kratkie itogi introduksii v Glavnom botanicheskom sadu Akademii nauk SSSR* [Decorative perennials. Brief results of introduction in the Main Botanical Garden of the USSR Academy of Sciences]. Moscow: Nauka Publ., 1960, pp. 49–68.
- [12] Bondorina I.A., Sapelin A.Yu. *Dekorativno-listvennye rasteniya i kustarniki dlya klimaticheskikh usloviy Rossii* [Ornamental-deciduous plants and shrubs for climatic conditions in Russia]. Moscow: Kladez-Buks Publ., 2004, 143 p.
- [13] Kabanov A.V. *Perspektivnye dekorativnye zlaki dlya gorodskogo ozeleneniya. Problemy sovremennoy dendrologii, tsvetovodstva i sadovo-parkovogo stroitel'stva* [Prospective decorative grasses for urban landscaping. Problems of modern dendrology, floriculture and landscape gardening] Sat. scientific part: Materials of Correspondence Intern. Scientific Conference, dedicated. 95th anniversary of the birth of prof. V.I. Tkachenko and the 100th anniversary of the birth L.S. Krivosheyeva. Sept. 25, 2014. Botanical Garden E.Z. Gareyeva. National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic. Bishkek: Botanical Garden E.Z. Gareyeva. National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic, 2014, pp. 78–82.
- [14] *Tsvetochno-dekorativnye travyanistye rasteniya. Kratkie itogi introduksii* [Flower-decorative herbaceous plants. Brief results of introduction]. Ed. V.N. Bylov. Moscow: Nauka Publ., 1983, pp. 103–111, 246–249.
- [15] *Katalog kollektiy otdela dekorativnykh rasteniy* [Catalog of collections of the department of ornamental plants]. Moscow: ALES, 2000, 172 p.

## Authors' information

**Bondorina Irina Anatol'evna** — Dr. Sci. (Biol.), Head of the Department of Decorative Plants of the Main Botanical Garden named after N.V. Tsitsin RAS, bondo-irina@yandex.ru

**Kabanov Alexandr Vladimirovich** — Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher of the Main Botanical Garden named after N.V. Tsitsin RAS, alex.kabanow@rambler.ru

**Mamaeva Natal'a Anatol'evna** — Senior Researcher of the Main Botanical Garden named after N.V. Tsitsin RAS, mamaeva\_n@list.ru

**Ryabtseva Anna Andreevna** — agronomist of the Main Botanical Garden named after N.V. Tsitsin RAS, riabceva-anna@rambler.ru

**Khokhlacheva Yuliya Anatol'evna** — Researcher of the Main Botanical Garden named after N.V. Tsitsin RAS, jusic-la@yandex.ru

Received 19.10.2017.

Accepted for publication 27.12.2017.

## КОЛЛЕКЦИЯ ПИОНОВ В БОТАНИЧЕСКОМ САДУ МГУ: ПРИМЕР ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МЕЖДУ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫМИ И ПРИКЛАДНЫМИ НАПРАВЛЕНИЯМИ ИССЛЕДОВАНИЙ

С.В. Ефимов, Г.В. Дегтярева

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, биологический факультет, Ботанический сад, 119991, г. Москва, Ленинские Горы, д. 1/12

efimov-msu@yandex.ru

В Ботаническом саду Московского университета проводится работа по интродукции, изучению и селекции видов и межвидовых гибридов рода *Paeonia* L. По результатам наблюдений за ростом и развитием растений, их адаптацией к условиям средней полосы Европейской России и способностью к размножению выделены наиболее устойчивые виды (*P. anomala*, *P. daurica*, *P. hybrida*, *P. lactiflora*, *P. tenuifolia*, *P. veitchii*, *P. wittmanniana*) и виды, культивирование которых в наших почвенно-климатических условиях пока вызывает трудности (*P. obovata*, *P. officinalis*, *P. mlokosewitschii*, *P. peregrina*). Все сорта, включая межвидовые и межсекционные гибриды коллекции Ботанического сада МГУ, устойчивы в культуре, проходят все фенологические фазы развития. Коллекция включает 300 культиваров, отражающих все направления селекции, и 18 видов, многие из которых занесены в Красную книгу Российской Федерации. С 2014 г. МГУ реализует проект «Научные основы создания национального банка-депозитария живых систем», цель которого состоит в сохранении биоразнообразия и создании новых способов использования биологических материалов. Широта охвата по различным аспектам (морфологии, географии, направлениям селекции) представленных в коллекции образцов позволяет в дальнейшем развивать коллекцию в плане взаимодействия фундаментальных и прикладных исследований. Это способствует не только мультидисциплинарному изучению рода *Paeonia*, но и сохранению его генофонда.

**Ключевые слова:** Ботанический сад МГУ, коллекция, интродукция, сохранение биоразнообразия, информационные системы, *Paeonia*

**Ссылка для цитирования:** Ефимов С.В., Дегтярева Г.В. Коллекция пионов в Ботаническом саду МГУ: пример взаимодействия между фундаментальными и прикладными направлениями исследований // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 2. С. 47–54. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-2-47-54

Развитие информационных технологий и внедрение передовых методов исследований вызвало в современной ботанике новую волну интереса к изучению биоразнообразия, и успехи в этой области связывают прежде всего с применением мультидисциплинарных подходов. Руководители ботанических садов, где сконцентрированы документированные коллекции живых растений, также отреагировали на возникшие изменения. За рубежом ботанические сады нередко становятся центрами комплексной охраны природы. Большое внимание при этом уделяется растениям, имеющим важное социально-экономическое значение, в том числе — лекарственным [1]. Работники отечественных ботанических садов считали важной задачей, помимо испытания и введения в культуру дикорастущих видов, создание коллекций, основанных на формах и сортах декоративных и плодовых растений. Поэтому для российских ботанических садов особенно актуален вопрос о том, как, не потеряв накопленное, сохранить связь с мировыми тенденциями [2].

В некоторых случаях определенные ограничения вносит отсутствие специалистов и научной базы для проведения исследований. В университетских ботанических садах больше возможно-

стей для реализации интегрированных исследовательских проектов, объединяющих усилия не только ботаников, но и представителей других биологических дисциплин [2]. Ботанический сад Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, основанный в 1706 г., является одним из старейших в России и имеет в своем составе коллекции как природных видов (растения, представленные в дендрарии, на альпийской горке, на участке систематики, участке полезных растений, а также тропические и субтропические растения), так и сортов различных культур (розы, пионы, ирисы, флоксы, сирень, яблоня и др.) [3].

С 2014 г. МГУ реализует проект «Научные основы создания национального банка-депозитария живых систем», цель которого состоит в сохранении биоразнообразия и создании новых способов использования биологических материалов [4]. Основное внимание при этом уделяется не столько сбору нового биологического материала, сколько применению уже существующих обширных ботанических, зоологических и других коллекций.

Одной из наиболее значимых коллекций Ботанического сада МГУ является коллекция пионов,

которая служит хорошим объектом для работы в данном направлении. Для этого есть несколько причин. Среди представителей рода *Paeonia* L. имеются лекарственные растения, в том числе признанные официальной медициной (например, пион уклоняющийся), а также редкие виды, занесенные в Красную книгу Российской Федерации [5]. Биологические особенности пионов обусловлены разнообразием по ряду морфологических признаков и уровню ploидности. Помимо этого, в формировании видовых комплексов имели и имеют место гибридизационные процессы, которые препятствуют установлению границ между видами. Что касается сортов, то к настоящему времени имеется огромное количество культиваров, полученных в результате внутри- и межвидовой гибридизации. Еще одна важная причина актуальности работы с коллекцией пионов состоит в том, что пионы интродуцированы и культивируются во многих ботанических садах России.

### Цель работы

Цель настоящей работы — обзор состава коллекции пионов, устойчивости видов и сортов в условиях средней полосы России, а также рассмотрение некоторых возможностей взаимодействия между фундаментальными и прикладными направлениями исследований, основанными на координированной работе с видами и сортами.

### Объекты и методы исследований

В работе использованы: литературные данные и архивные документы по интродукции видов и сортов рода *Paeonia* L., авторские наблюдения за пионами в культуре, а также полевые наблюдения в местах их естественного произрастания. Выращивание растений проводится на коллекционных и экспозиционных участках, а также в питомниках. Источниками для формирования коллекционного фонда являются семена и живые растения, собранные в природе (места сбора: Грузия, Российская Федерация — Крым, Краснодарский край, Алтайский край, Республика Алтай, Дальний Восток, Мурманская область), а также полученные по обмену из других ботанических садов.

Фенологические наблюдения за растениями проводили в соответствии с методикой, разработанной в Главном ботаническом саду РАН [6], а оценку результатов интродукции — на основе методики Р.А. Карписоновой [7]. Большое внимание при интродукции уделялось зимостойкости пионов.

Виды флоры Дальнего Востока *P. obovata* Maxim. и *P. oreogeton* S. Moore., плохо различимые по макроморфологическим признакам, рассматриваются как комплекс видов родства *P. obovata* [8].

### Результаты и обсуждение

Семейство Раеониáceае является монотипным и представлено единственным родом *Paeonia* L., насчитывающим около 40 видов, подвидов и разновидностей многолетних трав и геоксильных кустарников [9–11], произрастающих в лесном и субальпийском поясе гор, а также в лесостепных и степных областях северного полушария Евразии. Два вида встречаются в Северной Америке, один — в Северной Африке. Большинство видов — это редкие растения, сосредоточенные на ограниченных территориях.

Для успешной интродукции видов рода *Paeonia* в Ботаническом саду МГУ подобраны разные условия освещенности. Видам луговых и степных сообществ отведены открытые солнечные участки, а лесных — под кронами разреженных древесно-кустарниковых растений. На экспозиционном участке виды сгруппированы по географическому принципу. В коллекции собраны в основном виды из областей с умеренным климатом, способные произрастать в Москве в условиях открытого грунта. Для кустарниковых видов применяется укрытие на зиму легким слоем еловых веток для защиты цветочных почек при смене оттепелей морозами.

Одной из важных заслуг Ботанического сада МГУ было введение в культуру кустарниковых видов Юго-Западного Китая: *Paeonia suffruticosa* Andr., *P. delavayi* Franch и *P. lutea* Delavay ex Franch., которые изначально считались неперспективными для средней полосы Европейской России ввиду их низкой зимостойкости. Работу по интродукции и селекции возглавила А.А. Сошневец, а позже продолжила В.Ф. Фомичёва [12]. Успешной акклиматизации кустарниковых пионов во многом благоприятствовал микроклимат Воробьевых гор, где расположен сад, и кулисные посадки древесных растений. Поэтому в Ботаническом саду МГУ растения зимуют успешнее, чем в других насаждениях на широте Москвы и в более низких местах города. В неблагоприятные зимы побеги частично погибают, но за короткое время восстанавливаются из спящих почек и продолжают благополучно развиваться. В целом кустарниковые виды условно перспективны для средней полосы Европейской России, особенно в свете наблюдающегося в последние десятилетия глобального изменения климата. В Ботаническом саду МГУ кустарниковые виды хорошо растут, ежегодно цветут и плодоносят. *Paeonia suffruticosa* образует ежегодно большое количество жизнеспособных семян. Размножается *P. suffruticosa* семенами, а *P. lutea* и *P. delavayi* — семенами и делением куста благодаря наличию у них ксилоподиев.



Для травянистых видов, успешно зимующих во многих областях России, микроклимат не так важен. Рассмотрим подробнее группы видов согласно их географическому распространению.

Группа травянистых видов родства *Paeonia anomala* L., распространенных в Сибири, Средней Азии и прилегающих регионах, представлена в коллекции такими видами, как *P. anomala*, характеризующаяся наиболее обширным ареалом, преимущественно среднеазиатским видом *P. intermedia* С.А. Меу., алтайским видом *P. hybrida* Pall. и китайским эндемичным видом *P. veitchii* Lynch. Все виды комплекса — диплоиды. Они проходят все этапы сезонного развития, устойчивы к грибковым заболеваниям, ежегодно и обильно плодоносят. *Paeonia anomala* дает обильный самосев и склонна к спонтанной гибридизации с *P. tenuifolia*.

*Paeonia tenuifolia* L. ( $2n = 10$ ) произрастает на Балканском полуострове, в юго-восточных районах Восточной Европы, на Кавказе и в Крыму по сухим степным глинистым и каменистым южным склонам. Культивируется в Ботаническом саду МГУ уже более 50 лет, ежегодно цветет и плодоносит. Однако наблюдается низкая приживаемость после деления. Неоднократные попытки привезти из экспедиций живые растения положительных результатов не дали независимо от возрастного состояния растений. Семена, собранные в природе, обладают хорошей всхожестью, возможен самосев. В коллекции культивируются подвид *P. tenuifolia* subsp. *bibersteiniana* (Rupr.) Halda, который в условиях культуры не цветет ежегодно и не образует семян, и махровая стерильная форма *P. tenuifolia* f. *plena*, размножаемая клоновым делением.

Хорошо зарекомендовали себя представители лесных сообществ Кавказской флоры: *P. wittmanniana* Hartwiss ex Lindl ( $2n = 20$ ), *P. macrophylla* Lomak., *P. caucasica* N. Schip. ( $2n = 10$ ), *P. mlokosewitschii* Lomak. ( $2n = 10$ ). Несмотря на ежегодное цветение, образование семян зависит от погодных условий и никогда не бывает обильным. В культуре у этих видов наблюдаются aberrантные пыльцевые зерна. *Paeonia wittmanniana* дает самосев и может размножаться делением, *P. mlokosewitschii* размножается только семенами. Кавказские виды, за исключением *P. wittmanniana*, недолговечны в условиях культуры в средней полосе Европейской России, что может быть связано с почвенно-климатическими условиями московского региона.

Представитель крымской лесной флоры — *P. daurica* Anders — в условиях культуры показывает неплохие результаты, ежегодно цветет, плодоносит, хотя, как и у кавказских видов, завязывание плодов зависит от погодных условий и наличия опылителей. Размножается семенами и делением куста.

В коллекции представлены также дальневосточные виды: *P. lactiflora* Pall. ( $2n = 10$ ) и *P. obovata* Maxim. ( $2n = 10, 20$ ). *Paeonia lactiflora* в природе растет на сухих открытых каменистых склонах, открытых долинах, по берегам рек, среди кустарников и на изреженных опушках. *Paeonia obovata* — лесной вид, растущий в смешанных и лиственных лесах, под пологом древесных видов. Благодаря экологической пластичности наиболее устойчивым в культуре является *P. lactiflora*. Оба вида проходят все фазы, завязывают много семян (даже больше, чем в природе), эпизодически наблюдается самосев. Вид *P. obovata* в культуре недолговечен и часто выпадает в коллекциях ботанических садов. Основная причина — неправильно подобранные экологические условия культивирования. Вне естественного ареала средняя полоса Европейской России представляется для *P. obovata* регионом с наиболее подходящими условиями для интродукции (умеренно-континентальный климат с достаточным количеством осадков). Однако из-за слабой адаптации в культуре *P. obovata* приходится постоянно возобновлять из семян. На одном месте растения могут жить до 5–8 лет, после чего погибают от неустановленных причин.

В нашей коллекции собраны также южно-европейские тетраплоидные ( $2n = 20$ ) виды: *P. officinalis* L. и его садовые формы (*officinalis* L. f. *rosea plena*, *officinalis* L. f. *rubra plena*), *P. peregrina* Mull., а также подвиды: *P. officinalis* subsp. *villosa* (Huth) Cullen & Heywood; *P. officinalis* subsp. *banatica* (Rochel) Soo. Эта группа растений нуждается в открытых солнечных участках и щелочных почвах, чаще других подвержена грибковым заболеваниям. Цветение у представителей этой группы ежегодное, но семена завязываются плохо и в небольшом количестве.

Для большинства видов пиона возобновление из семян — наиболее надежный способ размножения. Однако необходимо учитывать тот факт, что у пионов ко времени созревания плодов в семенах имеется лишь зачаточное недоразвитое слабо дифференцированное клеточное тело и из-за этого процесс прорастания семян растянут на два года. Для получения сеянцев в первый год необходима двухэтапная стратификация переменной температурой: гипокотиль и зародышевый корень развиваются при высокой положительной температуре (+18...25 °C), а эпикотиль — при низкой положительной температуре (+2...5 °C). Вегетативный способ размножения надежен только для *P. lutea*, *P. delavayi*, *P. hybrida*, *P. anomala*, *P. veitchii*, *P. lactiflora*, *P. wittmanniana*.

Участок, где собраны виды пиона, можно рассматривать и как коллекцию генофонда редких и исчезающих растений, служащую целям сохранения

видов *ex situ*. В коллекции представлены восемь видов пионов, включенных в региональные Красные книги и Красную книгу Российской Федерации [5].

Разнообразие видов, высокий полиморфизм и декоративность послужили основой для селекции и гибридизации, в результате которых были получены культурные сорта, насчитывающие в настоящее время более восьми тысяч, с различными формами цветка и другими морфологическими признаками [13]. В мировую селекцию привлекались не более 10–12 видов, подвидов, разновидностей природной флоры, а положительные результаты были получены от еще меньшего их количества. Расширение садового сортимента в первую очередь связано с использованием самых разных комбинаций исходных видов и их форм, включая кустарниковые. Отличительные признаки межвидовых гибридов зависят от происхождения. Это не только окраска и форма цветка, но и сроки цветения, высота растения, степень рассеченности листовой пластинки, жизненная форма и т. д.

В Ботаническом саду Московского университета собрана коллекция культиваров, насчитывающая более 300 сортов [14]. Основная идея — показать творческую роль человека в получении декоративных форм и сортов из дикорастущих видов, подобранных таким образом, чтобы можно было ознакомиться с основными садовыми группами, достижениями в области селекции и гибридизации в России и за рубежом.

Появление большого разнообразия сортов (свыше 6000) обязано виду *P. lactiflora*, который используют, как правило, в качестве материнского растения. В природе можно встретить самые разные формы этого полиморфного вида: антоциановую, многолепестковую (полумахровую), малиновопестечную, и др.). Сорта, произошедшие от *P. lactiflora*, наследуют многоцветковость как доминантный признак. Цветки у них образуются в пазухах одного–трех, реже шести верхних листьев. Благодаря *P. lactiflora* стали возможными появление и развитие таких садовых групп, как гибриды межвидовые (гибриды двух и более видов) и межсекционных (гибриды разных жизненных форм, поликарпических трав и кустарников). Эти группы также представлены в коллекции и насчитывают 55 сортов межвидовых и 7 межсекционных гибридов. Их появление — результат межвидовой гибридизации, где материнским растением является *P. lactiflora* или *P. suffruticosa*, а отцовским — *P. officinalis*, *P. peregrina*, *P. delavayi*, *P. lutea*, *P. tenuifolia*, *P. wittmanniana*, *P. mlokosewitschii*, *P. anomala*, реже другие виды. В Ботаническом саду МГУ были выведены и зарегистрированы сорта, полученные в результате скрещивания *P. lactiflora* и *P. tenuifolia*: Орленок и Марсианин.

Многолетние наблюдения за состоянием видов и сортов в коллекции показали, что помимо индивидуальных биологических особенностей сортов, которые необходимо учитывать при выращивании, успех интродукции зависит от экологических предпочтений видов, задействованных в создании этих сортов. Следовательно, зная происхождение сорта, можно прогнозировать условия его культивирования и прохождения фенологических фаз развития.

Наиболее трудным этапом при выращивании пионов является зимовка. Губительными для пионов могут быть не только низкая температура воздуха в зимние месяцы, но и резкие ее перепады, а также отсутствие или незначительный уровень снежного покрова. В средней полосе Европейской России зимы очень нестабильные, особенно в последние годы. Наиболее показательна в этом отношении суровая зима 2002–2003 гг. Тогда в ноябре в отсутствие снежного покрова температура воздуха достигла  $-20^{\circ}\text{C}$  и произошло промерзание почвы на глубину 10...20 см. Анализ состояния коллекции после этой зимы показал, что виды пионов не пострадали, у сортов, произошедших от *P. lactiflora*, выпадов не было даже среди молодых растений позднего срока посадки (например, октябрь 2002 г.). Сильно пострадали межвидовые гибриды, у которых одним из родителей был южно-европейский вид *P. officinalis* или *P. peregrina* (Nadia, Ellen Cowley, Coral Fay, Golden Glow). В период вегетации 2003 г. у этих сортов наблюдалось значительное отставание в росте, у пяти–шестилетних растений в кусте было не более двух–трех побегов вместо семи–пятнадцати характерных для данных сортов в этом возрасте. В 2004 г. перечисленные сорта частично восстановились (не было отмечено отставания в росте), но полного восстановления они достигли только в 2005 г. Среди вновь посаженных межвидовых гибридов, независимо от сроков посадки (август — октябрь 2002 г.), полностью выпали сорта Ballerina и Seraphim (у которых одним из родителей был вид *P. macrophylla* или *P. wittmanniana*). Эти же сорта посадки 2000–2001 гг. прекрасно перезимовали.

За годы интродукции у пионов в коллекции Ботанического сада МГУ изучены биология видов [15], отношение к пересадке и другие особенности растений, отработаны методики подготовки семян к посеву, способы посева и ухода за сеянцами.

Для хранения информации о видах и сортах рода *Paeonia* коллекции Ботанического сада МГУ используется международная база данных BG-Base [16], которая не только обеспечивает базовое управление ресурсами живых растений, но и позволяет документировать, архивировать и этикетировать коллекцию. Это мощная, хорошо



Коллекция пионов как пример взаимодействия фундаментальных и прикладных направлений исследований в Ботаническом саду МГУ  
 The collection of pions as an example of the interaction of fundamental and applied research areas in the Botanical Garden of Moscow State University

зарекомендовавшая себя система, совместимая с соответствующими международными стандартами данных. Система регулярно обновляется и улучшается. Заложенные информационные ресурсы по таксономии, библиографии и географии характеризуют BG-Base как единую, полностью интегрированную систему, не требующую наличия отдельных систем баз данных для каждого из указанных типов данных.

В последнее время (2017 г.) коллекция растений рода пион стала объектом фундаментальных научных исследований (см. рисунок). Одно из наиболее интересных направлений в биологии в настоящее время — описание современного биоразнообразия. Наряду с традиционными анатомо-морфологическими методами изучения биоразнообразия растений, огромное значение приобрели молекулярные методы, основанные на сопоставлении нуклеотидных последовательностей ДНК. Для решения подобных задач род *Paeonia* является хорошим модельным объектом.

Будучи единственным представителем семейства *Paeoniaceae*, род *Paeonia* хорошо обособлен филогенетически. Однако взаимоотношения между видами внутри рода достаточно запутанные ввиду высокой внутривидовой изменчивости по целому ряду биоморфологических признаков. Отчасти ситуация осложняется еще и тем, что в формиро-

вании видовых комплексов имели и имеют место гибридационные процессы. Основные исследования рода пион направлены на изучение внутривидового и внутривидового полиморфизма различных фрагментов ДНК, анализируемых как методом прямого секвенирования по Сэнгеру, так и методом высокопроизводительного параллельного секвенирования, что позволяет решать вопросы о самостоятельности отдельных видов и тестировать гипотезы о межвидовой гибридизации.

Следует отметить, что для видов рода пион можно не только наблюдать естественные эволюционные процессы, но и провести сравнение с аналогичными процессами, протекавшими в ходе создания сортов. В качестве материала исследований используются культивары с разными родительскими формами — и с точно определенными, и с предполагаемыми на основании анализа морфологических признаков, и с неизвестными родительскими формами. Документированность истории создания сортов в ходе селекции позволяет провести сопоставление данных, полученных с использованием молекулярно-филогенетических методов, с реально протекавшими процессами.

Для такого полного охвата в рамках исследования имеется уникальный растительный материал — коллекция живых растений рода пион в



Ботаническом саду МГУ имени М.В. Ломоносова, где собраны растения разных таксономических групп из различных географических точек. Она включает 300 сортов, демонстрирующих все направления селекции, а также 18 видов и подвидов, многие из которых включены в Красную книгу Российской Федерации.

## Выводы

По результатам наблюдений за ростом и развитием растений, их адаптацией к условиям средней полосы Европейской России и способностью к размножению можно выделить наиболее устойчивые виды: *P. anomala*, *P. daurica*, *P. hybrida*, *P. lactiflora*, *P. tenuifolia*, *P. veitchii*, *P. wittmanniana*. Эти виды в коллекции Ботанического сада МГУ проходят все фазы, цветут, плодоносят, успешно размножаются семенами, а некоторые (*P. anomala*, *P. lactiflora*, *P. wittmanniana*) способны к самовозобновлению.

Пока еще трудно культивировать в наших почвенно-климатических условиях такие редкие виды, как *P. obovata*, *P. officinalis*, *P. mlokosewitschii*, *P. peregrina*. К наиболее слабо адаптирующимся в средней полосе Европейской России относятся виды с узким ареалом (*P. mlokosewitschii*, *P. lutea*).

Все сорта, межвидовые и межсекционные гибриды коллекции Ботанического сада МГУ устойчивы в культуре, проходят все фенологические фазы развития.

За годы интродукции изучены биология видов и сортов у пионов, отношение к пересадке и другие особенности растений, отработаны методики подготовки семян к посеву, способы посева и ухода за сеянцами.

Таким образом, за годы интродукции в Ботаническом саду сформировалась полноценная коллекция видов и сортов пионов, которая в дальнейшем может развиваться в направлении взаимодействия между фундаментальными и прикладными исследованиями. Так, знания о видах помогают устанавливать происхождение сортов и их экологические предпочтения в процессе культивирования. В то же время знания о сортах позволяют сравнивать результаты естественных гибридизационных процессов, имевших место в истории видов, с результатами аналогичных процессов, протекавших при создании сортов. Проведение всеобъемлющей инвентаризации материала, депонированного в современных электронных базах данных, улучшает способ документирования коллекций садовых растений. Это помогает не только проводить повседневную работу с коллекциями, но и сохранять и исследовать собранные растения.

*Работа выполнена в рамках государственного задания МГУ имени М.В. Ломоносова (тема № АААА-А16-116021660099-5).*

*Авторы выражают благодарность Российскому научному фонду (грант № 14-50-00029 «Научные основы создания национального банка-депозитария живых систем») за финансовую поддержку ботанических экспедиций по изучению генофонда и сбору материала на Дальнем Востоке.*

## Список литературы

- [1] International Agenda for Botanic Gardens in Conservation. Botanic Gardens Conservation International. Richmond: Botanic Gardens Conservation International Des-can-so House, 2000. 56 p. URL: <https://www.bgci.org/russia/policy/>
- [2] Новиков В.С., Раппопорт А.В., Ефимов С.В. Прошлое и настоящее российских ботанических садов // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический, 2017. Т. 122. № 3. С. 38–44.
- [3] Ботанический сад Биологического факультета Московского университета. 1706–2011: первому научному ботаническому учреждению России 305 лет / В.С. Новиков, М.Г. Пименов, К.В. Киселёва, С.В. Ефимов, А.Ю. Паршин, А.В. Раппопорт М.: Т-во науч. изданий КМК, 2012. 351 с.
- [4] Kamenski P.A., Sazonov A.E., Fedyanin A.A., Sadovnichy V.A. Biological Collections: Chasing the Ideal // Acta Naturae, 2016, v. 8, no. 2, pp. 6–9.
- [5] Красная книга Российской Федерации (растения и грибы) / Министерство природных ресурсов и экологии РФ; Федеральная служба по надзору в сфере природопользования; РАН; Российское ботаническое общество; МГУ им. М.В. Ломоносова; гл. редколлегия: Ю.П. Трутнев; сост. Р.В. Камелин. М.: Т-во науч. изданий КМК, 2008. 885 с.
- [6] Методика фенологических наблюдений в ботанических садах / под ред. Л.И. Лапина. М.: ГБС АН СССР, 1972. 135 с.
- [7] Карпионов Р.А. Травянистые растения широколиственных лесов СССР: эколого-флористическая и интродукционная характеристика. М.: Наука, 1985. 206 с.
- [8] Hong D.-Y., Pan K.-Y., Rao G.-Y. Cytogeography and taxonomy of the *Paeonia obovata* polyploid complex (Paeoniaceae) // Plant Syst. Evol., 2001, v. 227, pp. 123–136.
- [9] Stern F.C. A study of the genus *Paeonia*. London: Royal Horticultural Society, 1946, 155 p.
- [10] Halda J., Waddick J. The genus *Paeonia*. Cambridge: Timber Press Portland, 2004, 227 p.
- [11] Hong D.-Y. Peonies of the world. London: Kew Publishing, 2010, 312 p.
- [12] Сосновец А.А., Фомичёва В.Ф. Древоидные пионы и их гибридизация // Вестник Моск. ун-та. Сер. Биология, почвоведение, 1970, № 3. С. 109–111.
- [13] Jakubowski R., Hollingsworth D., Nordick J. Peonies 1997–2007. Registered peony cultivars, with a checklist of peony names, references and originators // The American Peony Society. USA: Gladstone, Missouri, 2008. 213 p.
- [14] Каталог декоративных растений ботанического сада биологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова / В.В. Дворцова, С.В. Ефимов, Е.И. Дачок, Е.В. Смирнова, К.А. Голиков, М.С. Успенская, В.А. Андреева, И.В. Матвеев; под общ. ред. В.С. Новикова. М.: Т-во науч. изданий КМК, 2010. 358 с.
- [15] Ефимов С.В. Род *Paeonia* L. Современные направления интродукции и методы оценки декоративных признаков: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.02.01. 2008. 24 с.
- [16] BG-Base. Collections management software. URL: <http://www.bg-base.com>



## Сведения об авторах

**Ефимов Сергей Владимирович** — канд. биол. наук, старший научный сотрудник Ботанического сада биологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, efimov-msu@yandex.ru

**Дегтярева Галина Викторовна** — канд. биол. наук, старший научный сотрудник Ботанического сада биологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, degavi@mail.ru

Поступила в редакцию 17.10.2017.

Принята к публикации 12.01.2018.

## PEONY PLANT COLLECTION IN THE MSU BOTANIC GARDEN: AN EXAMPLE OF COOPERATION BETWEEN FUNDAMENTAL AND APPLIED STRATEGIES

S.V. Efimov, G.V. Degtyareva

Lomonosov Moscow State University, Biological Faculty, Botanic Garden, Moscow, 119991, Russian Federation, Leninskie Gory, 1/12  
efimov-msu@yandex.ru

The Botanic garden of Moscow State University carries out the work on introduction, investigation and selection of species and interspecific hybrids of the genus *Paeonia* L. Based on growth and development of plants, their adaptation to conditions of the European Russia and ability to reproduction the most resistant species were selected, such as *P. anomala*, *P. daurica*, *P. hybrida*, *P. lactiflora*, *P. tenuifolia*, *P. veitchii*, *P. wittmanniana*. Another species, such as *P. obovata*, *P. officinalis*, *P. mlokosewitschii*, *P. peregrina* are still difficult for cultivation in our soil-climatic conditions. All cultivars, including interspecific and intersection hybrids, collected in the Botanic Garden of the Moscow State University are resistant and pass all phenological phases of development. The collection includes 300 cultivars demonstrating all selection trends, as well as 18 species, many of which included in the Red Data Book of Russian Federation. Since 2014, the Moscow State University realizes the project «National depository bank of living systems» dedicated to preserve the biodiversity and create new ways of biological material use. The range of coverage of the samples presented in collection on various aspects (morphology, geography, selection directions) allows to develop the collection in direction of an interaction between fundamental and applied researches, promoting not only to multidisciplinary studying of the genus *Paeonia* as a whole, but also to gene pool preservation.

**Keywords:** MSU Botanic Garden, collection, introduction, biodiversity conservation, information systems, *Paeonia*

**Suggested citation:** Efimov S.V., Degtyareva G.V. *Kolleksia pionov v Botanicheskom sadu MGU: primer vzaimodeystviya mezhdru fundamental'nymi i prikladnymi napravleniyami issledovaniy* [Peony plant collection in the MSU Botanic garden: an example of cooperation between fundamental and applied strategies] *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 2, pp. 47–54. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-2-47-54

### References

- [1] International Agenda for Botanic Gardens in Conservation. Botanic Gardens Conservation International. 2000, 56 p. Available at: <https://www.bgci.org/russia/policy/>
- [2] Novikov V.S., Rappoport A.V., Efimov S.V. *Proshloe i nastoyashchee rossiyskikh botanicheskikh sadov* [Past and present of Russian Botanical Gardens]. *Byulleten' Moskovskogo obshchestva ispytateley prirody. Otdel biologicheskii* [Bulletin of Moscow society of naturalists: Biological series], 2017, v. 122, no. 3, pp. 38–44.
- [3] Novikov V.S., Pimenov M.G., Kiselyova K.V., Efimov S.V., Parshin A.Yu., Rappoport A.V. *Botanicheskiy sad Biologicheskogo fakul'teta Moskovskogo universiteta. 1706–2011: pervomu nauchnomu botanicheskomu uchrezhdeniyu Rossii 305 let* [Botanical Garden of the Lomonosov Moscow State University. 1706–2011: to the first scientific botanical institution of Russia for 310 years]. Moscow: *Tovarishchestvo nauchnykh izdaniy KMK*, 2012, 351 p.
- [4] Kamenskiy P.A., Sazonov A.E., Fedyanin A.A., Sadovnichiy V.A. *Biological Collections: Chasing the Ideal. Acta Naturae*, 2016, v. 8, no. 2, pp. 6–9.
- [5] *Krasnaya kniga Rossiyskoy Federatsii (rasteniya i griby)* [The Red Book of the Russian Federation (plants and fungi)]. Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation; Federal Service for Supervision in the Sphere of Nature Management; RAS; The Rossiysk Botanical Society; Moscow State University. M.V. Lomonosov; chief of ed. board Yu.P. Trutnev; comp. R.V. Kamelin. Moscow: *Tovarishchestvo nauchnykh izdaniy KMK*, 2008, 855 p.
- [6] *Metodika fenologicheskikh nablyudeniy v botanicheskikh sadakh* [The methodology of phenological observations in botanical gardens]. Ed. L.I. Lapin. Moscow: *GBS AN SSSR*, 1972, 135 p.
- [7] Karpisonova R.A. *Travyanistyje rasteniya shirokolistvennykh lesov SSSR: ekologo-floristicheskaya i introduktsionnaya kharakteristika* [The herbaceous plants of deciduous forests of the USSR: ecologo-floristic and introduction characteristics]. Moscow: *Nauka*, 1985, 206 p.

- [8] Hong D.-Y., Pan K.-Y., Rao G.-Y. Cytogeography and taxonomy of the *Paeonia obovata* polyploid complex (Paeoniaceae). *Plant Syst. Evol.*, 2001, v. 227, pp. 123–136.
- [9] Stern F.C. A study of the genus *Paeonia*. London: Royal Horticultural Society, 1946, 155 p.
- [10] Halda J., Waddick J. The genus *Paeonia*. Cambridge: Timber Press Portland, 2004, 227 p.
- [11] Hong D.-Y. Peonies of the world. Kew Publishing, 2010, 312 p.
- [12] Sosnovets A.A., Fomichyova V.F. *Drevovidnye piony i ikh gibrizatsiya* [Tree peonies and their hybridization]. *Vestnik Mosk. un-ta. Ser. Biologiya, pochvovedenie* [Moscow University Bulletin. Ser. Biology, Soil Sciences], 1970, no. 3, pp. 109–111.
- [13] Jakubowski R., Hollingsworth D., Nordick J. Peonies 1997–2007. Registered peony cultivars, with a checklist of peony names, references and originators. The American Peony Society. USA: Gladstone, Missouri, 2008, 213 p.
- [14] Dvortsova V.V., Efimov S.V., Datsyuk E.I., Smirnova E.V., Golikov K.A., Uspenskaya M.S., Andreeva V.A., Matveev I.V. *Katalog dekorativnykh rasteniy botanicheskogo sada biologicheskogo fakul'teta MGU imeni M.V. Lomonosova* [Catalogue of ornamental plants of the Botanical Garden of Biological Faculty of M.V. Lomonosov Moscow State University]. Moscow: Tovarichestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2010. 358 p.
- [15] Efimov S.V. *Rod Paeonia L. Sovremennye napravleniya introduksii i metody otsenki dekorativnykh priznakov* [The genus *Paeonia* L. Modern directions of introductions and methods for assessing ornamental features]. *Avtoref. dis. ... kand. biol. nauk* [Thesis abstract Cand. Sci. (Biol.)], 2008, 24 p.
- [16] BG-Base. Collections management software. Available at: <http://www.bg-base.com>

### Authors' information

**Efimov Sergey Vladimirovich** — Cand. Sci. (Biol.), Scientific Researcher of Botanic Garden of Biological Faculty of Lomonosov Moscow State University, [efimov-msu@yandex.ru](mailto:efimov-msu@yandex.ru)

**Degtyareva Galina Viktorovna** — Cand. Sci. (Biol.), Scientific Researcher of Botanic Garden of Biological Faculty of Lomonosov Moscow State University, [degavi@mail.ru](mailto:degavi@mail.ru)

Received 17.10.2018.

Accepted for publication 12.01.2018.

УДК 635.9

DOI: 10.18698/2542-1468-2018-2-55-60

## К ВОПРОСУ ПОДБОРА КОМНАТНЫХ РАСТЕНИЙ ДЛЯ ФИТОКОМПОЗИЦИЙ

**И.Ю. Бочкова, О.Н. Бобылева**

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

bochkova@mgul.ac.ru

Рассмотрен последовательный подбор ассортимента комнатных растений для различных фитокомпозиций. Освещены вопросы улучшения микросреды интерьеров за счет фитосанитарных функций растений, со-ответствия растений существующим экологическим условиям в интерьере, функционального назначения озеленяемых помещений. Приведены примеры расчета высоты растений по числовому ряду Фибоначчи, дана классификация фитокомпозиций по В.В. Снежко. Уделено внимание подбору емкостей для посадки растений, способам посадки в зависимости от требований растений к субстратам. Отмечается недостаток специальной литературы по дисциплине «Растения в интерьере».

**Ключевые слова:** фитокомпозиция, функциональное назначение интерьера, вид растительной композиции, тип ландшафтной композиции, принципы совмещения растений, масштабность, цветовые характеристики растений

**Ссылка для цитирования:** Бочкова И.Ю., Бобылева О.Н. К вопросу подбора комнатных растений для фитокомпозиций // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 2. С. 55–60.

DOI: 10.18698/2542-1468-2018-2-55-60

В настоящее время возрастает роль комнатных растений в формировании комфортной среды, благоприятной для жизнедеятельности человека, вынужденного проводить длительное время в помещениях. Растения благотворно влияют на организм человека, улучшают микроклимат помещений. Многие растения выделяют особые вещества, которые губительно действуют на болезнетворные микроорганизмы, одновременно улучшая и оздоравливая воздух. Фитосанитарная функция растений заключается в обезвреживании не только биологических, но и физических и химических загрязнителей воздуха. Некоторые растения служат биофильтром для вредных веществ. Они могут аккумулировать из атмосферы соединения азота, углерода, формальдегида, фенольные соединения и использовать их как источник макро- и микроэлементов для роста и развития [1].

### Цель работы

Комнатные растения не только оздоравливают среду, но и играют важную роль в ее эстетическом улучшении.

Составление композиции — творческий процесс, где не может быть готовых решений и рецептов. В основе любого творческого процесса лежит знание основных правил и законов построения композиции, на которые следует постоянно ориентироваться.

В программе подготовки бакалавров по направлению 35.03.10 «Ландшафтная архитектура» читается дисциплина «Растения в интерьере», однако специальной литературы по данной тематике, недостаточно.

Цель данной работы — обобщить разрозненные сведения о порядке подбора ассортимента комнатных растений с целью фитокомпозиций для дальнейшего использования в курсе данной дисциплины.

### Материалы и методы

Подбор растений для озеленения помещения следует начинать с учета существующих экологических условий, которые часто малоприспособлены для содержания комнатных растений. В основном используют так называемые экологически пластичные виды, которые смогли приспособиться к существующим условиям. Лимитирующим фактором выбора растений является освещенность помещения. По потребности в интенсивности света декоративные растения подразделяют на светолюбивые (для нормального роста и развития им требуется освещенность 5000...10 000 лк), теневыносливые (нормально развиваются при освещенности около 1000 лк) и тенелюбивые (способны нормально расти при освещенности 500...700 лк) [2]. Существует довольно большая группа растений, способных длительное время жить в условиях низкой освещенности (менее 500 лк): аглаонемы, диффенбахии, монстеры, сингониум, драцены, фатсия, фикусы, аспидистра и др. Необходимо учесть, что это относится только к зеленолиственным растениям.

Большое значение имеет и тепловой режим содержания растений. Для растений наиболее важна температура зимнего содержания, так как в это время в помещении, как правило, не хватает света и слишком низкая влажность воздуха. По условиям зимнего содержания выделяют расте-

ния теплых помещений (температура 15...20 °С, максимум 25 °С), прохладных помещений (температура 4...6 °С, максимум 10...12 °С) и группу растений, которые одинаково хорошо растут как при высокой, так и при низкой температуре (алоэ, лимон, циперус, кордилина южная, куркулиго отогнутое, кливия).

Следует отметить тесную связь между экологическими параметрами помещения. Если нельзя увеличить освещенность в зимнее время, следует как можно больше снизить температуру, и наоборот [2].

## Результаты и обсуждение

После выбора растений по экологическим условиям необходимо определить **функциональное назначение** озеленяемого помещения (вестибюль, коридор, лестницы, офисные или служебные помещения, рекреация, производственное помещение, медицинское учреждение и т. д.) [3]. Так, например, в медицинских учреждениях комнатные растения выполняют санитарно-гигиеническую, лечебно-профилактическую, эстетическую и психофизиологическую функции. С целью увеличения оздоровительного воздействия на внутреннюю среду помещений подбирают ассортимент растений с наиболее выраженным антибактериальным и противовирусным действием, а для озеленения отделений медицинских учреждений — с соответствующим лечебным воздействием. В детских дошкольных учреждениях комнатные растения улучшают санитарно-гигиенические условия, способствуют профилактике заболеваний, создают уютную, «домашнюю» среду. Кроме того, правильно организованная работа с комнатными растениями расширяет представление детей о живой природе, воспитывает любовь и бережное отношение к ней, создает навыки выращивания данных растений и ухода за ними, развивает наблюдательность, способствует эстетическому восприятию окружающего мира.

Отобрав растения в соответствии с функциональным назначением помещения, следует определить **вид растительной композиции**: солитер, растительная группа или фрагмент зимнего сада. Наиболее декоративны два последних типа композиций. При их создании часто используется вегетативный стиль [4], который может быть представлен различными фрагментами, имитирующими природные или искусственные ландшафты. Каждая растительная группа должна быть не случайным сочетанием, а действительным отражением естественного природного пейзажа. В результате анализа различных природных растительных сообществ В.В. Снежко были выявлены несколько основных типов ландшафтных композиций: «тропический лес» (рис. 1), «болотный ландшафт»,

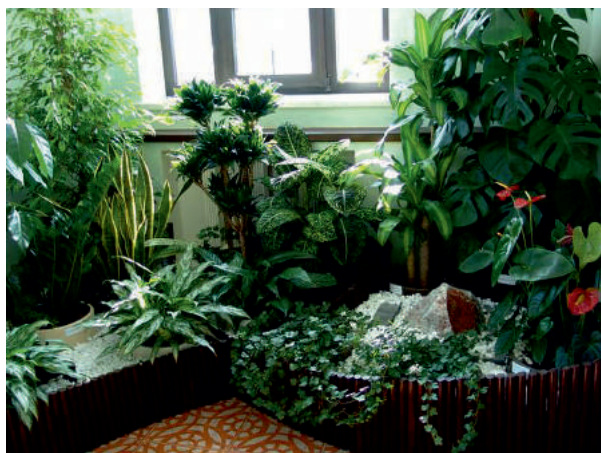


Рис. 1. Композиция «тропический лес»  
Fig. 1. Composition «tropical forest»

«прибрежный ландшафт», «лес умеренной зоны», «лесная поляна», «пустынный» и «скальный» ландшафты [5]. Для каждой из этих композиций рекомендуются определенные виды растений, приемы их размещения, малые архитектурные формы.

В пределах выбранного ассортимента выделяют структурные, вспомогательные, оттеняющие и фоновые растения [6]. *Структурные растения* — средние или крупные, наиболее долговечные, экологически пластичные в условиях интерьеров различных типов. Они составляют скелет композиции. Среди структурных растений выделяют: *осевое растение* — самое высокое в композиции, занимающее не более 25 % площади композиции; *акцентное растение*, обладающее оригинальной формой кроны, графикой ветвей, декоративной окраской листьев, эффектным цветением. *Вспомогательные растения* выполняют подчиненную роль при создании композиции, являясь ее «наполнителями». Размеры, цвет и габитус вспомогательных растений зависят от основных растений; по размеру они должны быть меньше основных. *Оттеняющие растения* — самые низкие, главным образом почвопокровные, создают естественный фон для всей композиции, подчеркивая ее контуры и закрывая субстрат. *Фоновые растения* формируют фон, на котором воспринимается вся композиция. В некоторых случаях одно растение может выполнять сразу несколько функций, например, быть оттеняющим и фоновым или вспомогательным и акцентным.

В качестве осевых используют вертикальные, крупнолистные виды (драцену, фикус, монстеру, кордилину, шеффлеру и т. п.). Осевое растение размещают не в геометрическом центре композиции, а обычно в стороне от него (лучше на заднем плане). В многоярусной композиции не должно быть двух одинаковых растений одной высоты.



Композицию не следует перенасыщать в видовом отношении, оптимальный состав группы — это 3–6 видов. При восприятии человеком композиции, состоящей из большого количества видов растений, нарушается ее целостность и она зрительно разбивается на части. В таком случае создают несколько доминант и объединяют растения в нечетные распознаваемые фрагменты так, чтобы смысловая связь между ними не прерывалась [6].

Расположение компонентов может быть симметричным или асимметричным (свободным). При *симметричном* расположении все стороны композиции разрабатывают одинаково. Обычно в законченном виде такая композиция имеет форму полушара или треугольника. Симметричная композиция вызывает ощущение покоя, уравновешенности, но из-за отсутствия динамики задерживает внимание не надолго, и обычно применяется для оформления коридоров, вестибюлей, переходов, официальных и торжественных мероприятий.

*Асимметричные* композиции могут вызвать ощущение уравновешенности, если центр тяжести зрительно устойчив [7].

Следующий шаг — определение принципа совмещения растений в композиции (контраст или нюанс). *Контрастом* называется сопоставление предметов или явлений, противоположных по своим свойствам. *Контраст* служит средством выявления существенного в композиции, подчеркивает характерные особенности и декоративные достоинства элементов, расположенных рядом. Контраст в композиции может быть по одной или нескольким характеристикам (по размеру, форме (рис. 2), цвету листовых пластинок (рис. 3) или соцветий, по габитусу растений). *Нюанс* — это сходство или тонкое, незначительное различие в каких-либо признаках или свойствах. Нюанс в композиции может выражаться в спокойном ритме близких по высоте, форме (рис. 4), цвету элементов, например, нюансными будут группы из комнатных растений одного вида, высаженных в одинаковые емкости и расположенных в геометрическом порядке, а также группы, построенные на оттенках одного цвета или небольших различиях в размере растений. Нюансные соотношения, как правило, предназначены для восприятия с близкого расстояния.

Контраст и нюанс — взаимодополняющие средства, которые не могут существовать отдельно друг от друга. При построении гармоничных композиций из растений обычно используют как контрастные, так и нюансные сопоставления элементов. Группа может быть контрастной по одним признакам (например, по цвету) и нюансной по другим (например, по размеру и форме листьев растений). Выбирая принцип сочетания растений, следует придерживаться правила подсчета



Рис. 2. Композиция, контрастная по форме листьев  
Fig. 2. Composition contrasting in leaf form



Рис. 3. Композиция, контрастная по цвету листьев  
Fig. 3. Composition contrasting in color of leaves

количества элементов в композиции:  $n = 7 \pm 2$ . Таким образом, в группе может быть от пяти до девяти (максимум 11) элементов. *Элементами* композиции являются форма и окраска листовых пластинок, форма и окраска соцветий, габитус растений.

После выбора принципа совмещения растений необходимо провести **расчет высоты** каждого растения или отдельных ярусов. Для этого можно воспользоваться числовым рядом Фибоначчи [8], который построен на суммировании чисел (каждый последующий член, начиная с третьего,



Рис. 4. Композиция, нюансная по форме листьев  
Fig. 4. Composition that is nuanced in form of leaves

равен сумме двух предыдущих: 1, 1, 2, 3, 5, 8 и т. д.). Если, например, из ряда Фибоначчи берут соотношение 3:5:8, это значит, что в композиции из растений, образующих три яруса, самые высокие должны составлять восемь частей, средние – пять, низкие — три части. Если высота всей композиции (по высоте верхнего яруса) 200 см, то высота одной части равна  $200 : 8 = 25$  см. Тогда высота среднего яруса должна составлять 125 см ( $25 \cdot 5 = 125$ ), а нижнего яруса — 75 см ( $25 \cdot 3 = 75$ ).

По этому же принципу можно определять и расстояния между растениями, а также соотношение между размерами емкости и растений в ней. Не следует понимать данное правило буквально, поскольку подобрать ассортимент живых растений строго по расчетам практически невозможно. Полученные цифры могут лишь приблизительно указывать на соотношение размеров растений в композиции.

Все элементы композиции должны быть соразмерны, т.е. соответствовать параметрам человека и окружающего пространства (например, интерьера).

Масштабность композиции из растений определяется такими моментами, как отношение размеров всей композиции к размерам человека и отношение размеров всей композиции к размерам составляющих ее элементов [8].

Необходимо учитывать цветовые характеристики и самих растений, и интерьера, а также основные принципы сочетания цветов, широко применяющиеся в искусстве и производственной сфере. Известно, что цвет оказывает на человека

физиологическое, психологическое, эмоциональное и художественно-эстетическое воздействие. При создании композиций нужно соблюдать следующие правила [8]:

- основу гармоничных сочетаний должны составлять доминирующий (преобладающий) цвет и подчиненные ему цвета;

- цвета, обладающие высоким уровнем светлоты и насыщенности (например, желтый) должны занимать меньшую площадь в композиции;

- теплые по ощущению цвета (желтый, красный, оранжевый, пурпурный) обладают свойством визуально приближать композицию, увеличивать ее объем; холодные (синий, голубой, фиолетовый) визуально отдаляют композицию, уменьшают ее объем;

- светлые, теплые насыщенные цвета (желтый, красный, оранжевый, пурпурный) должны быть акцентом, центром композиции, а темные, тяжелые — дополнением, фоном;

- чем больше цветовых тонов используется в композиции, чем они интенсивнее, тем большей должна быть доля ахроматических цветов (белого, серого) и нейтральных (зеленоватых) тонов.

- на переднем плане композиции лучше размещать растения, имеющие крупные листья теплого светло-зеленого цвета, а дальние планы компоновать из растений с мелкой голубоватой листвой;

- в помещениях для кратковременного пребывания людей можно применять яркие, насыщенные цвета и контрастные сочетания; в помещениях для длительного пребывания лучше использовать нюансные сочетания цветов;

- холодные цвета хорошо воспринимаются при освещении люминесцентными лампами белого и холодно-белого света, теплые же — при освещении лампами накаливания и люминесцентными лампами тепло-белого света [9];

- универсальный фон имеет нейтральный цвет и матовую фактуру поверхности [9].

После подбора ассортимента по перечисленным параметрам решают вопрос о способе размещения растений в интерьере: горшки, кашпо, контейнеры и т. д. Чаще всего для посадки растений берут контейнеры. В помещениях используют контейнеры трех основных типов: переносные (их переносят с помощью рук), передвижные (их перемещают с помощью роликов, которыми снабжены или сами контейнеры, или специальные подставки под них) и стационарные (они неподвижно соединены со строительными элементами зданий). Конструкции, формы, декоративная отделка стационарных емкостей могут быть разнообразными и зависят от архитектурно-планировочного решения помещения и приемов озеленения [9]. Если растения, подобранные для посадки в контейнер, имеют одинаковые требования к



субстрату и режиму полива, рекомендуется высаживать их непосредственно в субстрат. Если же требования к режиму полива разные, часть растений допускается размещать в композиции в индивидуальных емкостях (рис. 5).



Рис. 5. Размещение растений в индивидуальных емкостях  
Fig. 5. Placing plants in individual containers

Емкость наряду с растениями в ней часто сама является полноценным элементом композиции, и от правильности ее выбора зависит декоративность всей композиции и цельность ее восприятия. Особенно ценится сходство окраски емкости с цветом основных элементов композиции, которое подчеркивает их единство. Для большинства композиций подходят емкости нейтрального цвета (серого, белого, бежевого, черного), однотонные, без лишних рисунков и украшений. Если сама емкость является частью или акцентом композиции, то необходимо подбирать неяркие, имеющие выразительный силуэт растения, выполняющие в этом случае роль вспомогательного элемента [9, 10].

## Выводы

Подбирать ассортимент комнатных растений для фитокомпозиций рекомендуется в следующем порядке:

1) оценить существующие экологические условия в интерьере с учетом таких показателей как освещенность, температура зимнего содержания и влажность воздуха;

2) определить функциональное назначение помещений и подобрать ассортимент растений и способы их размещения в соответствии с этим назначением;

3) определить тип растительной композиции. В современных интерьерах растения чаще всего используют как солитеры или в групповых посадках (такие группы нельзя перенасыщать большим количеством видов, чаще всего это три–семь видов растений);

4) выделить структурные, акцентные, вспомогательные и оттеняющие растения;

5) поставить композицию в соответствие какому-либо природному растительному сообществу (восемь типов фитокомпозиций по Снежке);

6) выбрать принцип совмещения растений в композиции (контраст или нюанс) по таким декоративным признакам, как форма и окраска листовых пластинок, цветков или соцветий, габитус куста. При этом следует соблюдать правило подсчета количества элементов композиций: их должно быть не менее пяти и не более девяти (максимум 11);

7) рассчитать высоту растений, применяя числовой ряд Фибоначчи или любой другой принцип пропорциональности;

8) подобрать цветовую гамму растений в соответствии с основными положениями цветоведения;

9) определить тип емкости для посадки растений, его конструкцию, размеры и цветовое решение.

Данная последовательность подбора растений для фитокомпозиций применяется студентами 4-го курса при курсовом проектировании в рамках дисциплины «Растения в интерьере», изучаемой в МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал).

## Список литературы

- [1] Цыбуля Н.В., Фершалова Т.Д. Фитонцидные растения в интерьере. Новосибирск: Новосибирское книжное изд., 2000. 112 с.
- [2] Капанова Н.Н. Комнатные растения в интерьере. М.: МГУ, 1989. 193 с.
- [3] Бобылева О.Н., Берм В.Г. Растения в интерьере. М.: МГУЛ, 2015. 342 с.
- [4] Асманн П. Современная флористика. М.: Культура и традиции, 2003. 224 с.
- [5] Чхартишвили Н.К., Снежка В.В. Озеленение интерьера. Киев: Будивэльник, 1990. 80 с.
- [6] Бочкова И.Ю., Бобылева О.Н. Интерьерное озеленение. М.: Академия, 2017. 256 с.
- [7] Голубева О.Л. Основы композиции. М.: Искусство, 2004. 120 с.
- [8] Соколова Т.А., Бочкова И.Ю., Бобылева О.Н. Цвет в ландшафтном дизайне. М.: ЗАО Фитон+, 2007. 128 с.
- [9] Борисова А.В., Бердникова О.В. Устройство зимнего сада. М.: Эксмо, 2004. 128 с.
- [10] Рюкер К. Большая энциклопедия комнатных растений. М.: АСТ; Астрель, 2006. 479 с.

## Сведения об авторах

**Бочкова Ирина Юрьевна** — канд. с.-х. наук, доцент кафедры декоративного растениеводства и физиологии растений МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), bochkova@mgul.ac.ru

**Бобылева Ольга Николаевна** — старший преподаватель кафедры декоративного растениеводства и физиологии растений МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), bobyleva@mgul.ac.ru; agava0105@yandex.ru

Поступила в редакцию 05.09.2017.

Принята к публикации 01.12.2017.

## CONCERNING THE SELECTION OF INDOOR PLANTS FOR PHYTOCOMPOSITIONS

**I.Yu. Bochkova, O.N. Bobyleva**

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

bochkova@mgul.ac.ru

This article discusses the issues of sequential selection of indoor plants assortment in different phytocompositions. The issues of improving the microenvironment of interiors due to phytosanitary functions of plants, the conformity of plants to existing environmental conditions in the interior, the functional purpose of green spaces are discussed. Examples are given of calculating the height of plants in accordance with the numerical Fibonacci series, the classification of phytocompositions by V.V. Snezhko. Attention is paid to the selection of containers for planting plants, the methods of planting, depending on the requirements of plants for substrates. In the program of preparation of bachelors in the speciality 35.03.10 «Landscape architecture» the discipline «Plants in the interior» is read. Currently, there is a lack of specialized literature in this area.

**Keywords:** phytocomposition, the functional purpose of the interior, the type of plant composition, the type of landscape composition, the principles of plant combination, the scale, the color characteristics of plants

**Suggested citation:** Bochkova I.Yu., Bobyleva O.N. *K voprosu podbora komnatnykh rasteniy dlya fitokompozitsiy* [Concerning the selection of indoor plants for phytocompositions]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 2, pp. 55–60. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-2-55-60

## References

- [1] Tsybulya N.V., Fershalova T.D. *Fitontsidnye rasteniya v inter'ere* [Phytoncidal plants in the interior]. Novosibirsk: Novosibirsk Publishing House, 2000, 112 p.
- [2] Kapranova N.N. *Komnatnye rasteniya v inter'ere* [Indoor plants in the interior]. Moscow: Moscow State University Publ., 1989, 193 p.
- [3] Bobyleva O.N., Berm V.G. *Rasteniya v inter'ere* [Plants in the interior]. Moscow: MGUL Publ., 2015, 342 p.
- [4] Asmann P. *Sovremennaya floristika* [Modern floristic]. Moscow: Kul'tura i traditsii [Culture and Traditions] Publ., 2003, 224 p.
- [5] Chkhartishvili N.K., Snezhko V.V. *Ozelenenie inter'era* [Interior greening]. Kiev: Budivel'nik Publ., 1990, 80 p.
- [6] Bochkova I.Yu., Bobyleva O.N. *Inter'ernoje ozelenenie* [Interior landscaping]. Moscow: Publishing Centre «Academy», 2017, 256 p.
- [7] Golubeva O.L. *Osnovy kompozitsii* [Basics of composition]. Moscow: Izdatel'skiy dom «Iskusstvo» [Publishing House «Art»], 2004, 120 p.
- [8] Sokolova T.A., Bochkova I.Yu., Bobyleva O.N. *Tsvet v landshaftnom dizayne* [Color in landscape design]. Moscow: ZAO «Fiton+», 2007, 128 p.
- [9] Borisova A.V., Berdnikova O.V. *Ustroystvo zimnego sada* [The device of a winter garden]. Moscow: Eksmo Publ., 2004, 128 p.
- [10] Ryuker K. *Bol'shaya entsiklopediya komnatnykh rasteniy* [A large encyclopedia of indoor plants]. Moscow: AST; Astrel' Publ., 2006, 479 p.

## Authors' information

**Bochkova Irina Yuri'evna** — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of Chair of Decorative Plant Growing and Plant Physiology of BMSTU (Mytishchi branch), bochkova@mgul.ac.ru

**Bobyleva Ol'ga Nikolaevna** — Senior Lecturer of Chair of Decorative Plant Growing and Plant Physiology of BMSTU (Mytishchi branch), bobyleva@mgul.ac.ru; agava0105@yandex.ru

Received 05.09.2017.

Accepted for publication 01.12.2017.



## МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ И ПОСТАВКИ МНОГОНОМЕНКЛАТУРНОГО КОМПЛЕКТА ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ

**А.В. Питухин, В.Н. Шиловский, В.М. Костюкевич, В.В. Власов**

Петрозаводский государственный университет, 185910, Республика Карелия, г. Петрозаводск, пр.-т. Ленина, д. 33

pitukhin@petsu.ru

Представлена методика формирования и алгоритм ее реализации для решения задачи по определению оптимальных параметров поставки многономенклатурного комплекта запасных частей на лесозаготовительное предприятие. Проблема повышения эффективности лесозаготовительного производства может решаться, наряду с другими направлениями, за счет совершенствования уровня технической эксплуатации лесных машин, куда входят и вопросы снабжения запасными частями. Рыночные условия хозяйствования требуют соответствующего уровня планирования потребности в запасных частях, оптимизации управления их запасами, а также нового уровня исследования, оценки, мониторинга и управления системой обеспечения запасными частями лесозаготовительных машин и оборудования. Предложен способ автоматизации принятия управленческих решений путем создания и практической реализации методики в виде совокупности математических моделей с необходимой оценкой достаточного числа факторов, установлением правильных взаимосвязей между управляемыми и неуправляемыми переменными. Определены состав управляемых и неуправляемых параметров, структура алгоритма реализации математических моделей, позволяющей сформировать комплект запасных частей и выбрать рациональное транспортное средство для его доставки потребителю. Состав многономенклатурного комплекта запчастей предусмотрен гибким по номенклатуре и количеству в зависимости от конкретных условий. Определение экономически обоснованных параметров поставки многономенклатурного комплекта запчастей для территориально распределенных лесозаготовительных машин предлагается проводить через минимизацию затрат при поставках и разработку для этого аналитического выражения целевой функции. Представленные методика и алгоритм оригинальной программы расчетов на ЭВМ могут быть использованы для организации эффективного снабжения запасными частями широкого спектра лесозаготовительных машин как отечественного, так и зарубежного производства.

**Ключевые слова:** запасная часть, поставка, оптимизация, методика, алгоритм

**Ссылка для цитирования:** Питухин А.В., Шиловский В.Н., Костюкевич В.М., Власов В.В. Методика формирования и поставки многономенклатурного комплекта запасных частей // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 2. С. 61–67. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-2-61-67

Рациональная поставка запасных частей на современное лесозаготовительное предприятие, обладающее парком территориально распределенных лесозаготовительных машин, имеет большое значение и позволяет повысить конкурентоспособность предприятия. Действительно, недостаточное снабжение запасными частями (ЗПЧ) приводит к чрезмерным простоям лесозаготовительных машин (ЛЗМ), снижению объемов поставляемой древесины и, следовательно, уменьшению прибыли. Как отмечается в работе [1], свыше 60 % ЛЗМ в некоторых лесных регионах простаивают из-за недостаточного количества или отсутствия ЗПЧ. В той же работе [1] обосновывается создание резервного фонда ЗПЧ и агрегатов, рекомендуется объем их закупок для трактора ТТ-4М. Аналогичный подход к созданию резервного фонда, вопросам технического обслуживания и ремонта машин и оборудования рассматривается в работах [2,3]. В научных кругах активно изучаются создание и функционирование вторичного фонда запасных частей [4], проблемы их логистики и жизненного цикла [5,6], другие вопросы [7–9]. Однако при этом в работах отечественных и зарубежных авторов [1–11] рассматриваются поставки жестко регламентированных комплектов запасных частей и недостаточно внимания уделяет-

ся организации оптимальной оперативной поставке гибких по номенклатуре и количеству ЗПЧ для территориально распределенных ЛЗМ, используемых на различных по условиям работы лесозаготовительных предприятиях. Для оперативных, экономически обоснованных поставок необходима автоматизация принятия управленческих решений через создание методики в виде совокупности математических моделей, описывающих ход реальных событий и алгоритмов их реализации. Решение данных вопросов влияет на экономическую эффективность использования лесозаготовительной техники, особенно зарубежной, стоимость которой в несколько раз выше отечественной техники [8].

### Цель работы

Целью работы является разработка методики в виде совокупности математических моделей и алгоритма ее реализации для решения задачи определения оптимальных параметров оперативной поставки гибких многономенклатурных комплектов ЗПЧ на различные по условиям работы лесозаготовительные предприятия в рамках оптимальной системы кратных периодов снабжения для детерминированного и полностью удовлетворяемого стационарного спроса.

## Материалы и методы

Материалом для исследования служат научные труды в области технической эксплуатации, маркетинга и менеджмента технического сервиса и снабжения запасными частями лесозаготовительных и транспортных машин, а также собственные разработки авторов.

Определение экономически обоснованных параметров поставки многономенклатурного комплекта ЗПЧ для территориально распределенных лесозаготовительных машин проводим через минимизацию затрат при поставках и разработку для этого аналитического выражения целевой функции оптимизации процесса.

При осуществлении независимых друг от друга поставок, согласно формуле Уилсона [9], суммарные расходы  $C$  в единицу времени

$$C = \sqrt{2q(1+\gamma)} \sum_{i=1}^N \sqrt{\mu_i S_i}, \quad (1)$$

где  $q$  — стоимость поставки ЗПЧ, руб.;

$\gamma$  — коэффициент увеличения стоимости поставки ЗПЧ в зависимости от числа их поставки, шт.<sup>-1</sup>;

$N$  — число наименований ЗПЧ;

$\mu_i$  — средний спрос за месяц детали  $i$ -го наименования, шт./мес.;

$S_i$  — цена хранения в течение месяца, руб./мес.

Стоимость поставки  $q_n$  партии из  $n$  наименований ЗПЧ от одного поставщика можно представить в форме линейной функции [10]:

$$q_n = q(1 + \gamma n), \quad (2)$$

где  $n$  — число одновременно поставляемых ЗПЧ  $i$ -го наименования, шт. ( $n = \overline{1, N}$ ).

Формулы (1) и (2) отражают расходы на независимые поставки, когда каждая ЗПЧ  $i$ -го наименования заказывается с оптимальной периодичностью.

Отдельные наименования ЗПЧ со сходными значениями стоимостного спроса  $\mu_i S_i$  объединяются в совместно заказываемые группы, что позволяет получить малое расхождение между групповыми и индивидуальными оптимумами периодичности поставки. За счет кратности периодов снабжения по группам можно достичь наиболее полного и оптимального с экономической точки зрения совмещения поставок [8, 11, 12–14].

Обозначим через  $K_i$  коэффициент группировки ЗПЧ  $i$ -го наименования в комплекте поставки (число группировок  $K = 0, 1, 2, \dots$ ), а через  $n_k$  — число элементов (ЗПЧ) в  $K$ -й группировке. Затраты предприятия  $C$  на поставку ЗПЧ  $i$ -го

наименования ( $K_i \geq 2$ ) в единицу времени, как показано в работах [8, 12], составят

$$C_i = \frac{1}{2} \mu_i S_i K_i T + \frac{\gamma \beta_j q}{K_i T}, \quad (3)$$

где  $T$  — периодичность поставок, мес;

$\beta_j$  — доля дополнительных затрат при поставке ЗПЧ в зависимости от используемого  $j$ -го типоразмера транспортного средства доставки ( $j = \overline{1, J}$ ).

Необходимо определить оптимальный период поставки  $T$  и провести распределение всех ЗПЧ  $i$ -х наименований на множества (группы), чтобы сумма затрат на снабжение запчастями была минимальной.

Целевую функцию с учетом выражения (3) можно представить в виде

$$C = \frac{1}{2} T \sum_{i=1}^N \mu_i S_i K_i + \frac{\beta_j q}{T} \left( \gamma \sum_{i=1}^N \frac{1}{K_i} + 1 \right) \rightarrow \min. \quad (4)$$

Для определения минимума целевой функции (4) необходимо взять производную  $C$  по  $T$  на интервалах постоянства группировок, т. е. постоянства  $K_i$ :

$$\frac{dC}{dT} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \mu_i S_i K_i - \frac{\beta_j q}{T^2} \left( \gamma \sum_{i=1}^N \frac{1}{K_i} + 1 \right). \quad (5)$$

Найдем границы постоянства группировок, рассматривая, согласно выражению (5), поведение производной в крайних областях полуоткрытого интервала  $[0, \dots]$ . Коэффициенты при  $T$  и  $1/T$ , входящие в формулу (4), с увеличением  $T$  изменяются при перегруппировке менклатур, связанной с переходом ЗПЧ  $i$ -го наименования со значением  $K_i$  в значение  $K_i - 1$ . Момент перехода определяется выражением [8]

$$T_{R,i} = \sqrt{\frac{2\gamma\beta_j q}{\mu_i S_i K_i (K_i - 1)}}, \quad (6)$$

где  $R$  — индекс в обозначении периодичности поставки, указывающий правую границу интервала.

Функция (4) является непрерывной, кусочно-выпуклой и имеет отрицательные скачки производной на правых границах интервалов постоянства группировок [10]. Наилучший период поставки  $T^*$  при постоянной группировке можно определить, приравняв к нулю первую производную из соотношения (5). Этот период равен

$$T^* = \sqrt{\frac{2\beta_j q \left( \gamma \sum_{i=1}^N \frac{1}{K_i} + 1 \right)}{\sum_{i=1}^N \mu_i S_i K_i}}. \quad (7)$$

Наилучшему периоду поставки соответствуют минимальные затраты в единицу времени  $C^*$ :

$$C^* = \sqrt{\beta_j q \left( \gamma \sum_{i=1}^N \frac{1}{K_i} + 1 \right) \sum_{i=1}^N \mu_i S_i K_i}. \quad (8)$$

Для облегчения дальнейших преобразований и использования формул (7) и (8) обозначим числитель и знаменатель подкоренного выражения (7) через  $G$  и  $H$  соответственно и найдем их приращения при переходе  $r$ -го наименования ЗПЧ из  $K_r$  к значению  $K_r - 1$ , т.е. за правой границей интервала:

$$\begin{cases} \Delta G_R = \frac{2\gamma\beta_j q}{K_r (K_r - 1)}, \\ \Delta H_R = -\mu_r S_r, \end{cases} \quad (9)$$

где  $R$  — индекс в обозначении периодичности поставки, указывающий правую границу интервала.

В новых обозначениях

$$T^* = \sqrt{\frac{G}{H}}, \quad (10)$$

$$C^* = \sqrt{GH}. \quad (11)$$

Уменьшение суммарных расходов после такого перехода возможно лишь при условии

$$\frac{\Delta G}{G} < \frac{|\Delta H|}{H}, \quad \text{или} \quad \frac{\Delta G}{|\Delta H|} < \frac{G}{H},$$

что эквивалентно условию

$$T_{R,r} < T^*. \quad (12)$$

Из формулы (7) следует, что величина  $T_{R,r}$  быстро возрастает с уменьшением  $K_r$ , тогда как  $T^*$  увеличивается очень медленно. Таким образом, выполнение условия  $T_{R,r} \geq T^*$ , отличного от условия (12), для всех  $i$ -х наименований ЗПЧ приводит к нецелесообразности дальнейшего увеличения  $T$  и связанного с ним уменьшения коэффициента группировки ЗПЧ  $i$ -го наименования  $K_r$ , так как минимум  $C^*$  будет, согласно выражениям (8) и (11), возрастать.

Аналогичные рассуждения могут быть проведены и для возрастающих коэффициентов  $K_r$  при движении по оси  $T$  в сторону уменьшения

Т а б л и ц а 1  
Общий список управляемых и неуправляемых переменных целевой функции  
General list of managed and unmanaged variables of the objective function

№ п/п	Переменные целевой функции	Обозначение	Размерность
<i>Управляемые переменные целевой функции</i>			
1	Период поставки многономенклатурного комплекта ЗПЧ	$T^*$	мес
2	Число ЗПЧ $i$ -го наименования при поставке	$n_i$	шт.
3	Доля дополнительных затрат при поставке ЗПЧ в зависимости от используемого $j$ -го транспортного средства	$\beta_j$	
4	Коэффициент группировки ЗПЧ $i$ -го наименования в комплекте поставки ( $K = 1, 2, \dots$ )	$K_i$	
<i>Неуправляемые переменные целевой функции</i>			
1	Число одновременно поставляемых наименований ЗПЧ, $n = \overline{1, N}$	$N$	шт.
2	Стоимость поставки ЗПЧ	$q$	руб.
3	Коэффициент увеличения стоимости поставки запчастей (ЗПЧ) и эксплуатационных материалов (ЭМ) в зависимости от числа их поставки	$\gamma$	шт. <sup>-1</sup>
4	Средний спрос (потребность) на ЗПЧ $i$ -го наименования	$\mu_i$	шт./мес
5	Цена хранения ЗПЧ $i$ -го наименования	$S_i$	руб./мес
6	Масса $i$ -й позиции (наименования) ЗПЧ	$m_i$	кг
7	Физический объем $i$ -й позиции ЗПЧ (или упаковки)	$V_i$	м
8	Ограничение грузоподъемности $j$ -го транспортного средства, используемого для поставки	$M_j$	кг
9	Ограничение вместимости $j$ -го транспортного средства, используемого для поставки	$V_j$	м

рассчитываемого периода поставок ЗПЧ. Расчетное соотношение для левой границы интервала постоянства группировок имеет следующий вид

$$T_{L,i} = \sqrt{\frac{2\gamma\beta_j q}{\mu_i S_i K_r (K_r - 1)}}, \quad (13)$$

где  $L$  — индекс в обозначении периодичности поставки, указывающий левую границу интервала.

Общий список управляемых и неуправляемых переменных целевой функции оптимальной поставки запасных частей представлен в табл. 1.

## Результаты и обсуждение

Для реализации методики определения параметров поставки многономенклатурного комплекта ЗПЧ следует использовать следующий алгоритм [8,13], состоящий из совокупности математических моделей.

1. Рассчитываем при наименьшем значении  $\beta_j$  и максимальной величине  $\mu_i S_i$  предварительный период поставки  $T_0$ :

$$T_0 = \sqrt{\frac{2\beta_j q(1+\gamma)}{\mu_i S_i}}. \quad (14)$$

2. Упорядочиваем позиции (наименования) ЗПЧ по уменьшению величин  $\mu_i S_i$  и производим их перенумерацию. Для первого наименования ЗПЧ с наибольшим значением  $\mu_i S_i$ , имеем  $K_1 = K_i = 1$ . При убывании величин  $\mu_i S_i$  значение  $K_i$  будет возрастать по  $i$ . Увеличение  $K_i$  целесообразно при условии

$$\mu_i S_i \leq \frac{2\gamma\beta_j q}{T^2 K(K+1)} = R(k). \quad (15)$$

Используя полученное через выражение (14) значение  $T_0$ , находим пороговое значение стоимостного спроса для каждого целочисленного значения  $K$ :

$$R_k(T_0) = \frac{\gamma\mu_i S_i}{k(k+1)(1+\gamma)}. \quad (16)$$

3. Назначаем для  $i$ -й позиции ЗПЧ наименьшее  $K_i$ , которое является оптимальным и при котором выполняется условие (15).

4. Вычисляем предварительное значение  $T^*$  и суммарные затраты  $C^*$  с помощью следующих выражений:

$$G = 2q\beta_j \left( \gamma \sum_{i=1}^N \frac{1}{K_i} + 1 \right), \quad (17)$$

$$H = \sum_{i=1}^N \mu_i S_i K_i. \quad (18)$$

Значения  $T^*$  и  $C^*$  вычисляем по формулам (10), (11).

5. Вычисляем правые границы интервала постоянства группировок  $T_{R,i}$  по формуле (6).

6. При условии  $T_{R,i} < T^*$  переходим к п. 7, в противном случае — к п. 11.

7. Рассчитываем для всех  $i$ -х позиций ЗПЧ, для которых выполняется условие  $T_{R,i} < T^*$ , значения  $\Delta G_R$  и  $\Delta H_R$  по формулам (9).

8. Заменяем для всех  $i$ -х позиций ЗПЧ, для которых выполняется условие  $T_{R,i} < T^*$ , значение

$k_i$  на  $k_{i-1}$  и рассчитываем новое значение  $T_{R,i}$  по формуле (6).

9. Вычисляем новые значения замен  $G$  и  $H$  по формулам

$$G_{\text{нов}} = G + \Delta G_R, \quad (19)$$

$$H_{\text{нов}} = H + \Delta H_R. \quad (20)$$

Пересчитываем  $T^*$  и  $C^*$  по формулам (10), (11).

10. Переходим к п. 6.

11. Рассчитываем границы интервала постоянства группировок ЗПЧ  $i$ -го наименования  $T_{L,i}$  по формуле (13).

12. Если хотя бы для одной  $i$ -й позиций ЗПЧ выполняется условие  $T_{L,i} < T^*$ , то переходим к п. 13; в противном случае переходим к п. 17.

13. Для всех  $i$ -х позиций ЗПЧ, для которых  $T_{R,i} < T^*$ , рассчитываем замены  $\Delta G_L$  и  $\Delta H_L$ :

$$\Delta G_L = \sum_i \left( \frac{2q\beta_j \gamma}{K_i(K_i+1)} \right), \quad (21)$$

$$\Delta H_L = \sum_i \mu_i S_i. \quad (22)$$

14. Для всех  $i$ -х позиций ЗПЧ, для которых  $T_{L,i} < T^*$ , заменяем значение  $K_i$  на  $K_{i+1}$  и рассчитываем новое значение  $T_{L,i}$  по формуле (13).

15. Вычисляем новые значения  $G$  и  $H$ :

$$G_{\text{нов}} = G + \Delta G_L, \quad (23)$$

$$H_{\text{нов}} = H + \Delta H_L. \quad (24)$$

Пересчитываем  $T^*$  и  $C^*$  по формулам (10), (11).

16. Переходим к п. 12.

17. Определяем объем поставки  $i$ -й позиции ЗПЧ по выражению

$$n_i = \mu_i K_i T^*. \quad (25)$$

Значение  $n_i$  округляем в большую сторону до целого значения.

18. Выполняем проверку первоначально выбранного  $j$ -го транспортного средства по условию грузоподъемности и вместимости:

$$\sum_{i=1}^N m_i n_i \leq M_j, \quad (26)$$

$$\sum_{i=1}^N v_i n_i \leq V_j, \quad (27)$$

где  $m_i$  — масса  $i$ -й позиции ЗПЧ, кг;

$M_j$  — ограничение грузоподъемности  $j$ -го транспортного средства для поставок, кг;

$v_i$  — физический объем  $i$ -й позиции ЗПЧ, м<sup>3</sup>;

$V_j$  — ограничение вместимости  $j$ -го транспортного средства для поставок, м<sup>3</sup>.



19. При невыполнении хотя бы одного из условий (26) или (27) возвращаемся к п. 1 и выбираем следующее по возрастанию значение  $\beta_j$  с последующими расчетами согласно приведенным пунктам алгоритма и выражениям (14)–(25). В противном случае переходим к п. 20.

Т а б л и ц а 2

**Исходные данные по каждой поставляемой ЗПЧ**  
The initial data for each supplied spare part

Индекс ЗПЧ	Стоимость, руб.	Спрос, шт./мес	Масса, кг	Объем, м <sup>3</sup>
1	8000	0,39	1,0	0,01
2	1200	4,58	2,0	0,05
3	19 000	10,5	6,9	0,03
4	230	4,37	0,2	0,01
5	11 000	0,41	1,0	0,05
6	900	7,55	0,8	0,09
7	2400	12,50	2,0	0,012
8	3500	2,00	1,0	0,02
9	980	2,10	3,3	0,01
10	1100	2,66	1,2	0,07

Т а б л и ц а 3

**Результаты расчетов оптимальных параметров поставки ЗПЧ на предприятие в зависимости от изменения стоимости поставки  $q$**

The results of the calculation of the spare parts optimal delivery parameters to the enterprise, depending on the change in the delivery cost  $q$

Индекс ЗПЧ	$q = 150$ руб.		$q = 500$ руб.		$q = 1000$ руб.	
	Период поставки, дней	Величина поставки, шт.	Период поставки, дней	Величина поставки, шт.	Период поставки, дней	Величина поставки, шт.
1	14	1	26	1	37	1
2	14	3	26	5	37	6
3	7	3	13	5	18	7
4	22	4	40	6	56	9
5	14	1	26	1	37	1
6	14	4	26	7	37	10
7	7	3	13	6	18	8
8	7	1	13	1	18	2
9	14	1	26	2	37	3
10	7	1	13	2	18	2
Загр-ты $C^*$ , руб./мес	1564,81		2814,18		4040,34	
	Первое транспортное средство					

20. Выдаем в качестве результата последние из полученных величин  $T^*$ ,  $C^*$ ,  $\beta_j$ ,  $K_j$ ,  $n_j$ , которые являются окончательными параметрами поставки.

Задачу проверки работоспособности и адекватности математической модели проведем при ситуации изменения расстояний (стоимости) поставки 10 наименований ЗПЧ.

Имеем: первое транспортное средство грузоподъемностью 400 кг и вместимостью 1,5 м<sup>3</sup>; второе транспортное средство грузоподъемностью 1500 кг и вместимостью 6 м<sup>3</sup>. Коэффициент увеличения стоимости поставки: при первом транспортном средстве — 1,00; при втором — 1,85. Цена хранения ЗПЧ на предприятии составляет 2,5 % стоимости в месяц. Исходные данные по каждой поставляемой ЗПЧ приведены в табл. 2. Результаты расчетов оптимальных параметров поставки ЗПЧ в зависимости от изменения расстояний (стоимости) поставки приведены в табл. 3.

## Выводы

1. Обоснована и апробирована методика определения периодичности и объема поставок многономенклатурного комплекта запасных частей для лесозаготовительных машин.

2. Определены состав управляемых и неуправляемых параметров, структура алгоритма реализации методики в виде совокупности математических моделей, позволяющей формировать комплект ЗПЧ и выбирать рациональное транспортное средство для его доставки потребителю.

3. Представленная методика и алгоритм оригинальной программы расчетов на ЭВМ могут быть использованы для организации эффективного снабжения запчастями широкого спектра лесозаготовительных машин как отечественного, так и зарубежного производства.

4. В дальнейшем область применения методики и алгоритма может быть расширена для организации оптимальной системы поставок эксплуатационных материалов, необходимых для эксплуатации любой техники.

## Список литературы

- [1] Запруднов В.И., Карпачев С.П., Быковский М.А. Потребность парка лесосечных машин в техническом обслуживании // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2017. Т. 21, № 2. С. 76–79.
- [2] Быков В.В., Тесовский А.Ю. Справочник по технологическим и транспортным машинам лесопромышленных предприятий и техническому сервису. М.: МГУЛ, 2000. 532 с.
- [3] Игнатов В.И., Макуев В.А., Сиротов А.В. Техническая эксплуатация и технология ремонта машин и оборудования лесного комплекса. М.: МГУЛ, 2006. 337 с.
- [4] Алдошин Н.В. Выбор стратегий создания вторичного фонда запасных частей // Вестник Московского гос. агроинженерного ун-та им. В.П. Горячкина, 2015. № 1 (65). С. 7–11.
- [5] Арифиллин И.В. Комплексная оценка качества доставки запасных частей для технического обслуживания автотранспортного парка // Вестник Московского автомобильно-дорожного гос. техн. ун-та, 2016. № 3 (56). С. 218–220.
- [6] Арифиллин И.В., Соловьева А.А., Проненко Е.С., Некрасов В.В. Система жизненного цикла запасных частей подвижного состава // Транспорт: наука, техника, управление, 2014. № 1. С. 56–58.

- [7] Шиловский В.Н. Теоретические основы и стратегии организации маркетинга и менеджмента технического сервиса территориально распределенных машин и оборудования. Петрозаводск: ПетрГУ, 2001. 324 с.
- [8] Саливоник А.В., Питухин А.В., Шиловский В.Н. Повышение эффективности лесозаготовительных машин путем оптимального резервирования запасных частей и материалов (на примере машин компании «John-Deere»). Петрозаводск: ПетрГУ, 2014. 80 с.
- [9] Баранов Н. Риск и оптимум в формировании запасов // Ресурсы, информация, снабжение, конкуренция, 2003. № 3. С. 35–40.
- [10] Хэнсменн Ф. Применение математических методов в управлении производством и запасами. М.: Прогресс, 1966. 184 с.
- [11] Anily S., Federgruen A. Capacitated two-stage multi-item production model with joint setup cost // *Operations Research*, 1991, no. 3, pp. 244–254.
- [12] Рыжиков Ю.И. Управление запасами. СПб.: Питер, 2001. 384 с.
- [13] Шиловский В.Н., Питухина А.В., Костюкевич В.М. Маркетинг и менеджмент технического сервиса машин и оборудования: учеб. пособие. СПб.: Лань, 2015. 272 с.
- [14] Быков В.В., Голубев И.Г., Игнатов В.И., Назаренко А.С., Тесовский А.Ю. Технический сервис. Система технического обслуживания и ремонта лесозаготовительной и лесохозяйственной техники. М.: МГУЛ, 1999. 149 с.

## Сведения об авторах

**Питухин Александр Васильевич** — д-р техн. наук, профессор кафедры транспортных и технологических машин и оборудования Петрозаводского государственного университета, pitukhin@petsu.ru

**Шиловский Вениамин Николаевич** — д-р техн. наук, профессор кафедры транспортных и технологических машин и оборудования Петрозаводского государственного университета, shisvetnik@yandex.ru

**Костюкевич Вадим Михайлович** — канд. техн. наук, доцент, директор Института лесных, горных и строительных наук Петрозаводского государственного университета, vadkos@petsu.ru

**Власов Владимир Вячеславович** — аспирант кафедры транспортных и технологических машин и оборудования Петрозаводского государственного университета, ledohod@bk.ru

Принята к публикации 26.12.2017.

Поступила в редакцию 28.02.2018.

## THE METHOD OF FORMATION AND SUPPLY OF MULTIPRODUCT SPARES KIT

A.V. Pitukhin, V.N. Shilovskiy, V.M. Kostyukevich, V.V. Vlasov

Petrozavodsk State University (PetrSU), 33, Lenin st., Petrozavodsk, Republic of Karelia, 185910, Russia

pitukhin@petsu.ru

The technique of forming and the algorithm of its realization for the solution of the problem of determining the optimal parameters of multiproduct supply kit parts on the logging company. The problem of increasing the efficiency of timber production can be solved, along with other directions, by improving the level of technical maintenance of forestry machines, which includes the issue of supply of spare parts. Market economic conditions require appropriate planning level requirements for spare parts, optimisation of stockpile management, as well as a new level of research, assessment, monitoring and management system of spare parts procurement of the logging machinery and equipment. The article is devoted to automation of managerial decision-making through the creation and practical implementation of the methodology as a set of mathematical models with the necessary rating sufficient factors establishing the correct relationships between the managed and unmanaged variables. The composition of managed and unmanaged options, the structure of the algorithm implementing the mathematical model, which in addition to forming kit parts choose a rational vehicle for delivery to the consumer, are identified. In the developed mathematical model the composition of a diversified kit of parts provides a flexible nomenclature and number depending on the specific conditions. Determination of economically reasonable parameters of the diversified supply of kit of spares for geographically distributed harvesters is invited to navigate through the minimization of costs in the supply and development of this analytical expression of the objective function. The method and algorithm of the original program calculations on a computer can be used for efficient supply of spare parts to a wide range of forest machines.

**Keywords:** spare parts, supply, optimization, method, algorithm

**Suggested citation:** Pitukhin A.V., Shilovskiy V.N., Kostyukevich V.M., Vlasov V.V. *Metodika formirovaniya i postavki mnogonomenklaturnogo komplekta zapasnykh chastei* [The method of formation and supply of multiproduct spares kit]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 2, pp. 61–67.

DOI: 10.18698/2542-1468-2018-2-61-67

## References

- [1] Zaprudnov V.I., Karpachev S.P., Bykovskiy M.A. *Potrebnost' parka lesosechnykh mashin v tekhnicheskoy obsluzhivaniy* [The requirement of the logging machines park in maintenance]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2017, v. 21, no. 2, pp. 76–79.
- [2] Bykov V.V., Tesovskiy A. Yu. *Spravochnik po tekhnologicheskim i transportnym mashinam lesopromyshlennykh predpriyatiy i tekhnicheskoy servis* [Handbook of technological and transport machines for timber companies and technical services]. Moscow: MSFU Publ., 2000, 532 p.
- [3] Ignatov V.I., Makuev V.A., Siroto A.V. *Tekhnicheskaya ekspluatatsiya i tekhnologiya remonta mashin i oborudovaniya lesnogo kompleksa* [Maintenance and repair of machines and equipment of forest complex]. Moscow: MSFU Publ., 2006, 337 p.
- [4] Aldoshin N.V. *Vybor strategiy sozdaniya vtorichnogo fonda zapasnykh chastey* [The choice of strategy of secondary fund of spare parts]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo agroinzhenernogo universiteta im. V.P. Goryachkina [Moscow State Agroengineering University Bulletin]*, 2015, no. 1 (65), pp. 7–11.
- [5] Arifullin I.V. *Kompleksnaya otsenka kachestva dostavki zapasnykh chastey dlya tekhnicheskoy obsluzhivaniya avtotransportnogo parka* [A comprehensive assessment of the quality of spare parts for the maintenance of the vehicle park]. *Vestnik Moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Moscow State Automobile and Road Technical University Bulletin]*, 2016, no. 3 (56), pp. 218–220.
- [6] Arifullin I.V., Solov'eva A.A., Pronenko E.S., Nekrasov V.V. *Sistema zhiznennogo tsikla zapasnykh chastey podvizhnogo sostava* [System lifecycle of spare parts of rolling stock]. *Transport: nauka, tekhnika, upravlenie [Transport: science, technology, management]*, 2014, no. 1, pp. 56–58.
- [7] Shilovskiy V.N. *Teoreticheskie osnovy i strategii organizatsii marketinga i menedzhmenta tekhnicheskoy servisa territorial'no raspredelennykh mashin i oborudovaniya* [Theoretical foundations and strategies of the organization marketing and technical services management of geographically distributed machinery and equipment]. Petrozavodsk: PetrSU Publ., 2001, 324 p.
- [8] Salivonik A.V., Pitukhin A.V., Shilovskiy V.N. *Povyshenie effektivnosti lesozagotovitel'nykh mashin putem optimal'nogo rezervirovaniya zapasnykh chastey i materialov* [Improving the effectiveness of forest machines through the optimal reserve spare parts and materials]. Petrozavodsk: PetrSU Publ., 2014, 80p.
- [9] Baranov N. *Risk i optimum v formirovaniy zapasov* [Risk and optimum in the formation of stocks]. *Resursi, informatsiya, snabzhenie, konkurentsya [Resources, Information, Supply, Competition]*, 2003, no. 3, pp. 35–40.
- [10] Hensmein F. *Primenenie matematicheskikh metodov v upravlenii proizvodstvom i zapasami* [Application of mathematical methods in production management and inventory]. Moscow: Progress Publ., 1966, 184 p.
- [11] Anily S., Federgruen A. *Capacitated two-stage multi-item production model with joint setup cost*. *Operations Research*, 1991. no. 3. pp. 244–254.
- [12] Ryzhikov Yu.I. *Upravlenie zapasami* [Inventory management]. St. Petersburg: Piter Publ., 2001, 384 p.
- [13] Shilovskiy V.N., Pitukhin A.V., Kostyukevich V.M. *Marketing i menedzhment tekhnicheskoy servisa mashin i oborudovaniya* [Marketing and management of service machines and equipment]. St. Petersburg: Lan' Publ., 2015, 272 p.
- [14] Bykov V.V., Golubev I.G., Ignatov V.I., Nazarenko A.S., Tesovskiy A. Yu. *Tekhnicheskoy servis. Sistema tekhnicheskoy obsluzhivaniya i remonta lesozagotovitel'noy i lesokhozyaystvennoy tekhniki* [Technical service. System of maintenance and repair of logging and forestry equipment]. Moscow: MGUL, 1999. 149 p.

## Authors' information

**Pitukhin Aleksandr Vasil'evich** — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the Department of Transport and Technological Machines and Equipment of Petrozavodsk State University, pitukhin@petsu.ru

**Shilovskiy Veniamin Nikolaevich** — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the Department of Transport and Technological Machines and Equipment of Petrozavodsk State University, shisvetnik@yandex.ru

**Kostyukevich Vadim Mikhaylovich** — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Department of Transport and Technological Machines and Equipment of Petrozavodsk State University, vadkos@petsu.ru

**Vlasov Vladimir Vyacheslavovich** — pg. of the Department of Transport and Technological Machines and Equipment of Petrozavodsk State University, ledohod@bk.ru

Received 26.12.2017.

Accepted for publication 28.02.2018.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЛИМЕРОВ ДЛЯ ДЕРЕВООБРАБОТКИ ПО АДДИТИВНЫМ ФУНКЦИЯМ ГРУППОВЫХ ВКЛАДОВ ХИМИЧЕСКИХ СТРУКТУРНЫХ ЗВЕНЬЕВ

Б.М. Рыбин<sup>1</sup>, И.А. Завражнова<sup>1</sup>, Д.Б. Рыбин<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>ООО «Тимберланд», 141865, Московская обл., Дмитровский р-н, раб. пос. Некрасовский, Северная ул., д. 10

pitukhin@petrsu.ru

В технологии деревообработки для склеивания, облицовывания и отделки деталей и узлов из древесины и древесных материалов применяются различные клеевые и лакокрасочные материалы на основе полимерных композиций. Для прогнозирования технологических и эксплуатационных свойств клеевых прослоек и покрытий необходимо знать их физико-механические показатели: плотность, поверхностное натяжение, показатель преломления, когезионную прочность, относительную диэлектрическую проницаемость и др. Их определение иногда требует применения сложных методик и аппаратуры. На практике определение физических показателей возможно через аддитивные функции групповых вкладов химических структурных звеньев полимеров. При этом полимеры являются идеальным материалом, так как их структура образована последовательностями простых звеньев. Принцип аддитивности позволяет установить наличие взаимосвязи между химическим строением и физическими характеристиками изучаемых полимерных веществ. Предлагается методика, при которой на первом этапе определяют химическое строение структурных звеньев полимеров (полистирол, полиметилметакрилат, поливинилацетат, поливинилхлорид, карбамидо-, феноло- и меламиноформальдегиды, нитроцеллюлоза, полиуретан и полиалкиленгликольмалеинат). Перечисленные полимеры используются в качестве клеевых и лакокрасочных композиций, их структуру можно рассматривать как совокупность функциональных групп. Для выяснения физических свойств необходимо определить вклад функциональных групп в аддитивные мольные функции полимеров, затем вычислить их суммарный вклад для каждого физического показателя и по известным формулам рассчитать их значения. Доказана надежность предложенной методики. Вычисленные значения показателей отличаются от табличных незначительно. Так, средняя относительная ошибка практически по всем показателям не превышает 2%. Данная методика может быть рекомендована для применения в фундаментальных исследованиях полимерных композиций.

**Ключевые слова:** физические показатели полимеров, аддитивные функции групповых вкладов химических структурных звеньев

**Ссылка для цитирования:** Рыбин Б.М., Завражнова И.А., Рыбин Д.Б. Определение физических показателей полимеров для деревообработки по аддитивным функциям групповых вкладов химических структурных звеньев // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 2. С. 68–75.

DOI: 10.18698/2542-1468-2018-2-68-75

В технологии деревообработки для склеивания, облицовывания, жидкой отделки древесины и древесных материалов используют разнообразные клеевые и лакокрасочные материалы на основе полимерных композиций. Технологические и эксплуатационные свойства клеевых прослоек и защитно-декоративных покрытий зависят от физико-механических показателей, к которым относятся: плотность, поверхностное натяжение, когезионная прочность, показатель преломления света и др.

По плотности исходного материала определяют весовые показатели, расход и толщину применяемых клеевых и лакокрасочных материалов. Поверхностное натяжение характеризует смачивание и растекание жидких полимеров на древесине и древесных материалах и влияет на расход наносимых клеевых и лакокрасочных покрытий. С помощью показателя преломления определяют «чистоту» применяемых композиций и рассчитывают толщину покрытия микроскопическим

способом. Когезионная прочность характеризует внутреннюю прочность полимера, влияет на такие эксплуатационные показатели, как сопротивление удару, царапанию, долговечность клеевых и лакокрасочных пленок. Относительная диэлектрическая проницаемость характеризует отверждение полимеров при использовании высокочастотного нагрева. Определение перечисленных показателей является важной задачей при оценке физико-химических характеристик полимеров, применяемых в технологии деревообработки.

### Цель работы

Определение физических показателей требует применения сложных методов и аппаратуры. Задача облегчается, если использовать известную методику [1] определения физических показателей по аддитивным функциям групповых вкладов химических структурных звеньев полимеров, что и является целью данной работы.



**Материалы и методы**

В основе предложенной методики — принцип аддитивности, представляющий собой весьма эффективное средство в полужемпирическом подходе к исследованию физических характеристик вообще и характеристик полимеров в частности. Принцип аддитивности означает, что большое количество характеристик, рассчитанных на моль вещества, можно вычислить путем суммирования групповых вкладов химической структурной единицы полимера. Полимеры являются идеальным материалом для применения принципа аддитивности в связи с тем, что их структура образована последовательностями простых групп. Можно предположить, что принцип аддитивности позволяет установить наличие взаимосвязи между химическим строением и физическими характеристиками изучаемых веществ.

Для применения данной методики на первоначальном этапе необходимо определиться в химическом строении структурного звена полимера. Такую структуру можно в дальнейшем рассматривать как совокупность функциональных групп, характеризующихся количеством свободных валентностей. К основным функциональным группам относятся углеводородные, неуглеводородные и сложные. Все они характеризуются как монофункциональные, бифункциональные, трехфункциональные и тетрафункциональные. Для определения различных физических показателей необходимо по таблицам [1] определить вклад различных функциональных групп, затем вычислить их суммарный вклад для каждого физического показателя и по известным формулам рассчитать их значения.

Для исследования были выбраны следующие полимерные композиции: полистирол, полиметилметакрилат, поливинилацетат, поливинилхлорид, карбамидоформальдегид, фенолоформальдегид, меламиноформальдегид, нитроцеллюлоза, полиуретан и полиалкиленгликольмалеинат. Исследуемые полимерные композиции широко применяются в технологии деревообработки в качестве клеевых и отделочных материалов.

В табл. 1 приведены химические формулы и некоторые данные структурных звеньев с указанием литературного источника, из которого заимствовано химическое строение полимера. В своей основе все изучаемые полимеры представляют собой сложные композиции, состоящие из многофункциональных групп. По приведенной химической формуле рассчитана молекулярная масса структурного звена полимера. В табл. 2 приведено количество функциональных групп по видам находящихся в структурных звеньях соответствующих полимеров. Как видно из табл. 2, в различных структурных звеньях полимеров присутствуют: бифункциональные

Т а б л и ц а 1

**Химические формулы и основные характеристики структурных звеньев полимеров**

**Chemical formulas and basic characteristics of structural units of polymers**

Наименование полимера по химическому составу	Процесс образования полимера	Химическая формула структурного звена полимера	Молекулярная масса структурного звена полимера, г/моль	Химическое строение структурного звена полимера дано по литературному источнику
Полистирол	ПМ	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub>	104	[2]
Полиметилметакрилат	ПМ	C <sub>5</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	100	[3]
Поливинилацетат	ПМ	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	86	[4]
Поливинилхлорид	ПМ	C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl	62	[4]
Карбамидоформальдегид	ПК	C <sub>12</sub> H <sub>16</sub> O <sub>4</sub> N <sub>8</sub>	336	[3]
Фенолоформальдегид	ПК	C <sub>48</sub> H <sub>42</sub> O <sub>6</sub>	714	[5]
Меламиноформальдегид	ПК	C <sub>16</sub> H <sub>29</sub> O <sub>2</sub> N <sub>6</sub>	337	[6, 7]
Нитроцеллюлоза	ИЛ	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub> (ONO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	236	[8]
Полиуретан	ПК	C <sub>22</sub> H <sub>24</sub> O <sub>7</sub> N <sub>4</sub>	456	[9]
Полиалкиленгликольмалеинат	ПК	C <sub>20</sub> H <sub>20</sub> O <sub>8</sub>	388	[10]

*Примечание:* ИЛ — испарение летучей части; ПК — поликонденсация; ПМ — полимеризация.

и другие углеводородные группы, бифункциональные и другие азотосодержащие группы, бифункциональные и другие кислородо- и азотосодержащие группы и галогенсодержащие группы.

Известно [1], что наличие определенных функциональных групп в полимере влияет на его свойства. Так, простая эфирная группа (№ 8 в табл. 2) придает полимеру гибкость, ароматическая (№ 4) — жесткость, сложноэфирная (№ 10) создает в полимере умеренные силы, а амидная группа (№ 14 в табл. 2) — значительные силы межмолекулярного взаимодействия. Следовательно, наличие отдельных функциональных групп в полимере практически определяет его физико-механические свойства.

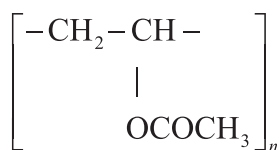
**Результаты и обсуждение**

Рассмотрим в качестве примера значения вклада функциональных групп структурного звена поливинилацетата в аддитивные мольные функции (табл. 3). Химическую формулу структурного звена поливинилацетата можно представить в следующем виде [4]:

Т а б л и ц а 2

**Количество функциональных групп по видам в структурном звене полимера**  
**Number of functional groups by species in the structural unit of the polymer**

Функциональная группа		Полимер									
№	Вид	Полистирол	Полиметилметакрилат	Поливинилацетат	Поливинилхлорид	Карбаминоформальдегид	Фенолформальдегид	Меламиноформальдегид	Нитроцеллюлоза	Полиуретан	Полиалкиленгликольмалеинат
1	—CH <sub>2</sub> —	1	1	1	1	8	12	11	1	4	5
2		1	—	1	1	—	—	—	4	—	5
3		—	1	—	—	—	—	3	—	—	—
4		1	—	—	—	—	—	—	—	—	1
5		—	—	—	—	—	—	—	—	2	—
6		—	—	—	—	—	6	—	—	—	—
7	—CH <sub>3</sub>	—	2	1	—	—	—	2	—	2	—
8	—O—	—	—	—	—	—	—	2	4	5	2
9		—	—	—	—	4	—	—	—	—	2
10		—	1	1	—	—	—	—	—	—	2
11	—CH(OH)—	—	—	—	—	—	—	—	1	—	—
12	—OH	—	—	—	—	—	6	—	—	—	—
13		—	—	—	—	—	—	1	—	—	—
14		—	—	—	—	8	—	5	—	—	—
15		—	—	—	—	—	—	—	—	4	—
16	—NO <sub>2</sub>	—	—	—	—	—	—	—	2	—	—
17	Cl—	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—



В табл. 3 приведен суммарный итог вклада функциональных групп по каждой аддитивной мольной функции. Их значения по поливинила-

цетату даны в табл. 4, где указаны значения суммарного вклада функциональных групп структурных звеньев различных полимеров в аддитивные мольные функции: рефракцию при длине волны света 589 нм, объем, парахор, когезию и поляризацию. Зная суммарный вклад функциональных групп структурных звеньев, можно рассчитать физико-механические показатели полимеров.

Т а б л и ц а 3

**Вклад функциональных групп химического структурного звена поливинилацетата в различные аддитивные функции**

The contribution of functional groups of the chemical structural link of polyvinyl acetate in various additive functions

Аддитивная мольная функция	Вид функциональной группы				Суммарный вклад
	—CH <sub>2</sub> —	—CH—	—O—C(=O)—	—CH <sub>3</sub>	
Рефракция $R_{\pi i}$ , см <sup>3</sup> /моль	4,65	3,62	6,30	5,64	20,21
Объем $V_i$ , см <sup>3</sup> /моль	15,85	9,45	23,00	23,90	72,20
Парахор $P_i$ , (эрг · см <sup>2</sup> ) <sup>1/4</sup> (см <sup>3</sup> · моль <sup>-1</sup> )	39,0	21,9	64,8	56,1	181,8
Когезия $F_i$ , (кал. см <sup>3</sup> ) <sup>1/2</sup> · моль <sup>-1</sup>	133	28	310	214	685
Поляризация $P_{vi}$ , г/моль	20,64	23,50	95,00	17,66	156,80

Т а б л и ц а 4

**Суммарный вклад функциональных групп химических структурных звеньев в аддитивные функции полимеров**

The total contribution of functional groups of chemical structural units in the additive functions of polymers

Полимер	Аддитивные мольные функции полимеров				
	Рефракция	Объем	Парахор	Когезия	Поляризация
	$\sum_{i=1}^n R_{\pi i}$ , см <sup>3</sup> /моль	$\sum_{i=1}^n V_i$ , см <sup>3</sup> /моль	$\sum_{i=1}^n P_i$ , (эрг · см <sup>2</sup> ) <sup>1/4</sup> (см <sup>3</sup> · моль <sup>-1</sup> )	$\sum_{i=1}^n F_i$ , (кал.см <sup>3</sup> ) <sup>1/2</sup> · моль <sup>-1</sup>	$\sum_{i=1}^n P_{vi}$ , г/моль
Полистирол	33,68	98,00	250,9	896	167,64
Полиметилметакрилат	24,75	86,50	220,8	778	177,36
Поливинилацетат	20,21	72,20	181,8	685	156,80
Поливинилхлорид	14,31	45,20	115,2	431	104,14
Карбаминоформальдегид	78,76	264,72	604,0	4564	613,92
Фенолоформальдегид	212,22	568,20	1522,8	6792	1199,28
Меламиноформальдегид	90,94	316,73	687,7	4432	579,47
Нитроцеллюлоза	45,07	150,02	370,6	1894	455,34
Полиуретан	120,27	379,80	991,8	4870	1025,08
Полиалкилен-гликольмалеинат	91,50	292,00	760,1	2850	729,30

Плотность полимера  $q$ , г/см<sup>3</sup> можно рассчитать по формуле

$$q = \frac{M}{\sum_{i=1}^n V_i}$$

где  $M$  — молекулярная масса структурного звена полимера, г/моль;

$\sum_{i=1}^n V_i$ , — суммарный вклад функциональных групп структурных звеньев в аддитивную мольную функцию объема полимера, см<sup>3</sup>/моль.

Для определения показателя преломления света полимера  $n$  можно воспользоваться следующим выражением Лоренца [11, 12]:

$$n = \left( \frac{1 + 2 \frac{\sum_{i=1}^n R_{\pi i}}{\sum_{i=1}^n V_i}}{1 - \frac{\sum_{i=1}^n R_{\pi i}}{\sum_{i=1}^n V_i}} \right)^{\frac{1}{2}}$$

где  $\sum_{i=1}^n R_{\pi i}$  — суммарный вклад функциональных групп структурных звеньев в аддитивные мольные функции рефракции полимера, см<sup>3</sup>/моль, при длине волны света 589 нм.

Т а б л и ц а 5

**Физические показатели полимеров, рассчитанные по аддитивным функциям  
групповых вкладов химических структурных звеньев**  
Physical indicators of polymers calculated from additive functions  
group contributions of chemical structural units

Полимер	Плотность $q$ , кг/м <sup>3</sup>	Показатель преломления $n$	Поверхностное натяжение $\gamma$ , мДж/м <sup>2</sup>	Когезия $E_{\text{кот}}$ , Дж/моль	Относительная диэлектриче- ская проницае- мость $\varepsilon$
Полистирол	1061	1,604	42,96	34 275	2,577
Полиметилметакрилат	1156	1,484	42,45	29 277	3,146
Поливинилацетат	1191	1,472	40,20	27 191	3,324
Поливинилхлорид	1371	1,546	42,19	17 195	2,821
Карбаминоформальдегид	1269	1,507	27,10	329 227	3,338
Фенолоформальдегид	1218	1,644	45,54	329 261	2,821
Меламиноформальдегид	1064	1,486	22,22	259 478	2,957
Нитроцеллюлоза	1573	1,513	37,24	100 025	3,723
Полиуретан	1200	1,546	46,50	261 273	5,053
Полиалкилен- гликольмалеинат	1329	1,539	45,91	116 385	3,533

Т а б л и ц а 6

**Сравнительные данные значений физических показателей полимеров — табличных  
и рассчитанных по аддитивным функциям групповых вкладов  
химических структурных звеньев**  
Comparative data of values of physical indicators of polymers both tabular  
and calculated from the functions on the additive group contributions chemical structural units

Физический показатель		Полимер			
		Полистирол	Полиметил- метакрилат	Поливинил- ацетат	Поливинил- хлорид
Плотность $q$	Табличная, кг/м <sup>3</sup>	10 580	1170	1190	1385
	Рассчитанная, кг/м <sup>3</sup>	1061	1156	1191	1371
	Средняя относительная ошибка, %	0,52	0,60	0,04	0,50
Показатель преломления $n$	Табличный	1,603	1,484	1,471	1,539
	Рассчитанный	1,604	1,484	1,472	1,546
	Средняя относительная ошибка, %	0,031	0,00	0,033	0,226
Поверхностное натяжения $\gamma$	Табличное, мДж/м <sup>2</sup>	43	42	40	42
	Рассчитанное, мДж/м <sup>2</sup>	42,96	42,45	40,20	42,19
	Средняя относительная ошибка, %	0,046	0,532	0,249	0,225
Когезия $E_{\text{кот}}$	Табличная, Дж/моль	33 053	30 124	27 614	17 572
	Рассчитанная, Дж/моль	34 275	29 277	27 191	17 195
	Средняя относительная ошибка, %	1,81	1,42	0,77	1,08
Относительная диэлектрическая проницаемость $\varepsilon$	Табличная	2,60	3,15	3,30	3,05
	Рассчитанная	2,57	3,14	3,32	2,82
	Средняя относительная ошибка, %	0,58	0,15	0,30	3,91



Поверхностное натяжение полимера  $\gamma$ , эрг/см<sup>2</sup>, можно рассчитать по выражению

$$\gamma = \left( \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{\sum_{i=1}^n V_i} \right)^4,$$

где  $\sum_{i=1}^n P_i$  — суммарный вклад функциональных групп структурных звеньев в аддитивную мольную функцию парахора полимера, (эрг · см<sup>-2</sup>)<sup>1/4</sup>(см<sup>3</sup> · моль<sup>-1</sup>).

Когезию полимера  $E_{\text{ког}}$ , кал/моль, можно рассчитать по формуле

$$E_{\text{ког}} = \left( \frac{\sum_{i=1}^n F_i}{\sum_{i=1}^n V_i} \right)^2,$$

где  $\sum_{i=1}^n F_i$  — суммарный вклад функциональных групп структурных звеньев в аддитивную мольную константу притяжения полимера, (кал · см<sup>3</sup>)<sup>1/2</sup> · моль<sup>-1</sup>.

Относительную диэлектрическую проницаемость  $\epsilon$  можно определить из выражения

$$\epsilon = \left( \frac{\sum_{i=1}^n P_{vi}}{M} \right)^2,$$

где  $\sum_{i=1}^n P_{vi}$  — суммарный вклад функциональных групп структурных звеньев в аддитивную мольную поляризацию полимера, г/моль.

Физические показатели полимеров, рассчитанные по различным аддитивным функциям групповых вкладов химических структурных звеньев, приведены в табл. 5. Значения рассчитанных физических показателей полимеров переведены в единицы измерения по системе СИ.

В табл. 6 приведены сравнительные данные табличных значений физических показателей некоторых полимеров со значениями, рассчитанными по аддитивным функциям групповых вкладов химических структурных звеньев. Для сравнения результатов определялась средняя относительная ошибка. Как видно из данных табл. 6, по всем показателям для полимеров (полистирол, полиметилметакри-

лат, поливинилацетат, поливинилхлорид) средняя относительная ошибка не превышает 2%. Исключение составляет относительная диэлектрическая проницаемость для поливинилхлорида, где средняя относительная ошибка составляет 3,91%.

## Выводы

Проведенное исследование дает основания для вывода о достаточной надежности предложенной методики определения физических показателей по аддитивным функциям групповых вкладов химических структурных звеньев полимеров. Для применения данной методики требуется знание химической структуры звена полимера. Рассмотренная методика может быть рекомендована для использования в фундаментальных исследованиях полимерных композиций.

## Список литературы

- [1] Ван Кревелен Д.В. Свойства и химическое строение полимеров / пер. с англ. Ф.Ф. Ходжевановой; под ред. А.Я. Малкина. М.: Химия, 1976. 416 с.
- [2] Булгай Б.М. Технология отделки древесины: учебник для вузов. М.: Лесная пром-сть, 1973. 304 с.
- [3] Шампатель Г., Рабатэ Г. Химия лаков, красок и пигментов. Т. 1 / пер. с фр. Н.П. Аграненко, Ю.Т. Беловицкой, Э.К. Левиной, Ю.А. Холмогорцевой; под ред. А.А. Беловицкого. М.: Госхимиздат, 1960. 584 с.
- [4] Рыбин Б.М. Технология и оборудование защитно-декоративных покрытий древесины и древесных материалов: учебник для вузов. М.: МГУЛ, 2007. 568 с.
- [5] Михайлов Н.В., Шершнев В.А., Шарай Г.А. Основы физики и химии полимеров: учеб. пособие для вузов / под ред. В.Н. Кулезнева. М.: Высшая школа, 1977. 248 с.
- [6] Пэйн Г.Ф. Технология органических покрытий. Т. 1: Масла, смолы, лаки и полимеры / пер. с англ. М.Д. Гордонова, Е.С. Гуревича, А.К. Муромцева, А.М. Фроста; под ред. Е.Ф. Беленького. Л.: Госхимиздат, 1959. 758 с.
- [7] Рабинович В.А., Хавин З.Я. Краткий химический справочник / под ред. В.А. Рабиновича. Л.: Химия, 1978. 392 с.
- [8] Химический энциклопедический словарь / гл. ред. И.Л. Кнунянц. М.: Сов. энциклопедия, 1983. 792 с.
- [9] Саундерс Дж.Х., Фриц К.К. Химия полиуретанов / пер. с англ. З.А. Кочновой, Ж.Т. Коркишко; под ред. С.Г. Энтелеса. М.: Химия, 1968. 470 с.
- [10] Жуков Е.В., Онегин В.И. Технология защитно-декоративных покрытий древесины и древесных материалов: учебник для вузов. М.: Экология, 1993. 304 с.
- [11] Борн М., Вольф Э. Основы оптики / пер. с англ. С.Н. Бреуса, А.И. Головашкина, А.А. Шубина; под ред. Г.П. Мотулевич. М.: Наука, 1973. 719 с.
- [12] Санаев В.Г. Анизотропия физико-механических свойств поверхности древесины // Структура, свойства и качество древесины-96: материалы II Международного симпозиума, 1997. М.: МГУЛ. С. 219–223.

## Сведения об авторах

**Рыбин Борис Матвеевич** — д-р техн. наук, профессор кафедры древесиноведения и технологии деревообработки МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), rybin@mgul.ac.ru

**Завражнова Ирина Анатольевна** — канд. техн. наук, доцент кафедры древесиноведения и технологии деревообработки МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), zavrazhnova@mgul.ac.ru

**Рыбин Дмитрий Борисович** — технолог ООО «Тимберланд», wood@yandex.ru

Принята к публикации 08.11.2017.

Поступила в редакцию 16.01.2018.

## DETERMINATION OF PHYSICAL PARAMETERS OF POLYMERS FOR WOODWORKING FUNCTIONS ON THE ADDITIVE GROUP CONTRIBUTIONS CHEMICAL STRUCTURAL UNITS

**B.M. Rybin<sup>1</sup>, I.A. Zavrazhnova<sup>1</sup>, D.B. Rybin<sup>2</sup>**

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

<sup>2</sup>«Timberland», 141865, Moscow reg., Dmitrovsky district, working settlement Nekrasovsky, Severnaya st., 10

rybin@mgul.ac.ru

The technology of woodworking for gluing, veneering and finishing of parts and components from wood and wood materials is used in various adhesive and coating materials based on polymer compositions. To predict future technological and operational properties of adhesive layers and coatings it is necessary to know the physico-mechanical parameters. Such indicators can be density, surface tension, refractive index, cohesive strength, relative permittivity, etc. For their definition it is sometimes required to use complex techniques and equipment. In practice, it is known that the determination of the physical parameters is possible through additive group contributions chemical structural units of polymers. The polymers are ideal materials, as their structure is formed by a sequence of simple links. Hence, the principle of additivity allows to establish a relationship between chemical structure and physical characteristics of the studied polymeric substances. Used in the research, the methodology assumes at the initial stage will be determined in the chemical structure units of a polymer. As the latter were selected: polystyrene, polymethyl methacrylate, polyvinyl acetate, polyvinyl chloride, carbamido-, phenolic- and melamineformaldehyde, nitrocellulose, polyurethane, and poliatilenglikol. These polymers are used as adhesive and coating compositions. The structure of the presented polymers can be considered as a set of functional groups. To define different performance polymers it is necessary to determine the contribution of functional groups in the additive molar functions of polymers. Then calculate their total contribution for each physical parameter and the known formulas to calculate their values. Studies have shown sufficient reliability of the proposed method of determining physical parameters for additive functions group contributions chemical structural units of polymers. The comparison of calculated data with tabular values for some polymers showed little difference. So, the average relative error in almost all indicators did not exceed 2 %. The results of the work can be recommended for use in fundamental research of polymer compositions.

**Keywords:** physical performance polymers, additive group contributions chemical structural units

**Suggested citation:** Rybin B.M., Zavrazhnova I.A., Rybin D.B. *Opređenje fizicheskih pokazateley polimerov dlya derevoobrabotki po additivnym funktsiyam gruppovykh vkladov khimicheskikh strukturnykh zven'ev* [Determination of physical parameters of polymers for woodworking functions on the additive group contributions chemical structural units]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 2, pp. 68–75. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-2-68-75

## References

- [1] Van Krevelen D.V. *Svoystva i khimicheskoe stroenie polimerov* [Properties and chemical structure of polymers]. Trans. from Eng. by F.F. Hodzhevanova; ed. A.Ya. Malkin. Moscow: Khimiya [Chemistry] Publ., 1976, 416 p.
- [2] Bulgay B.M. *Tekhnologiya otdelki drevesiny* [Technology of wood finishing]. Moscow: Lesnaya prom-st' Publ., 1973, 304 p.
- [3] Shampat'e G., Rabate G. *Khimiya lakov, krasok i pigmentov* [Chemistry of varnishes, paints and pigments]. Trans. from French by N.P. Agranenko, Yu.T. Belovitskaya, E.K. Levina, Yu.A. Kholmogortseva; ed. A.A. Belovitsky. Moscow: Goskhimizdat, 1960, 584 p.
- [4] Rybin B.M. *Tekhnologiya i oborudovanie zashchitno-dekorativnykh pokrytiy drevesiny i drevesnykh materialov* [Technology and equipment of protective and decorative coatings of wood and wood materials]. Moscow: MGUL, 2007, 568 p.
- [5] Mikhaylov N.V., Shershnev V.A., Sharay T.A. *Osnovy fiziki i khimii polimerov* [Fundamentals of physics and chemistry of polymers]. Ed. V.N. Kulezneva. Moscow: Vysshaya shkola [Higher School] Publ., 1977, 248 p.
- [6] Peyn G.F. *Tekhnologiya organicheskikh pokrytiy* [Technology of organic coatings]. V. 1: Oils, resins, varnishes and polymers. Trans. from Eng. by M.D. Gordonova, E.S. Gurevich, A.K. Muromtseva, A.M. Frost; ed. E.F. Belen'ky. Leningrad: Goskhimizdat, 1959, 758 p.

- [7] Rabinovich V.A., Khavin Z.Ya. *Kratkiy khimicheskiy spravochnik* [Brief Chemical Handbook]. Ed. V.A. Rabinovich. Leningrad: Khimiya [Chemistry] Publ., 1978, 392 p.
- [8] *Khimicheskiy entsiklopedicheskiy slovar'* [Chemical encyclopedic dictionary]. Chief ed. I.L. Knunyants. Moscow: Sovetskaya entsiklopediya Publ., 1983, 792 p.
- [9] Saunders Dzh.Kh., Frits K.K. *Khimiya poliuretanov* [Chemistry of polyurethanes]. Trans. from Eng. by Z.A. Koshchnoy, Zh.T. Korkishchko; ed. S.G. Entlis. Moscow: Khimiya [Chemistry] Publ., 1968, 470 p.
- [10] Zhukov E.V., Onegin V.I. *Tekhnologiya zashchitno-dekorativnykh pokrytiy drevesiny i drevesnykh materialov* [Technology protective and decorative coatings of wood and wood materials]. Moscow: Ekologiya Publ., 1993, 304 p.
- [11] Born M., Vol'f E. *Osnovy optiki* [Fundamentals of Optics]. Trans. From Eng. by S.N. Breus, A.I. Golovashkin, A.A. Shubina; ed. G.P. Motulevich. Moscow: Nauka Publ., 1973, 719 p.
- [12] Sanaev V.G. *Anisotropy of physical and mechanical properties of the surface of wood* [Anizotropiya fiziko-mekhanicheskikh svoystv poverkhnosti drevesiny] Stroenie, svoystva i kachestvo drevesiny-96: materialy II Mezhdunarodnogo simpoziuma, 1997 [Structure, properties and quality of wood-96: materials of the II International Symposium, 1997]. Moscow: MSFU, pp. 219–223.

## Authors' information

**Rybin Boris Matveevich** — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the Chair of Wood Science and Woodworking Technology of BMSTU (Mytishchi branch), rybin@mgul.ac.ru

**Zavrazhnova Irina Anatol'evna** — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Chair of Wood Science and Woodworking Technology of BMSTU (Mytishchi branch), zavrazhnova@mgul.ac.ru

**Rybin Dmitriy Borisovich** — Technologist of Open Company «Timberland», wood@yandex.ru

Received 26.12.2017.

Accepted for publication 28.02.2018.

УДК 674.037.4

DOI: 10.18698/2542-1468-2018-2-76-80

## ИМПУЛЬСНАЯ СУШКА ПИЛОМАТЕРИАЛОВ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ БУКА В КОНВЕКТИВНЫХ СУШИЛЬНЫХ КАМЕРАХ

Г.Н. Курышов<sup>1</sup>, А.А. Косарин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская область, г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1  
<sup>2</sup>ООО «Форсклад», 121359, г. Москва, Партизанская ул., д. 40

kosarin2008@yandex.ru

Дан обзор литературных источников по режимам и параметрам сушки пиломатериалов из древесины бука толщиной 50 мм. Приведены зависящие от текущей влажности пиломатериалов режимы сушки, рассмотренные в трудах П.В. Соколова, П.С. Сергеевского, Е.С. Богданова, а также в трудах и Руководящих технических материалах по технологии камерной сушки пиломатериалов. Указанные режимы различаются по начальной и конечной температуре агента сушки и по степени насыщенности на начальном и конечном этапах процесса сушки. Процесс сушки включает в себя от 2 до 9 ступеней в зависимости от режима. Первые импульсные сушки пиломатериалов из древесины бука проведены в 1992 г. в сушильной камере УЛ-2М сушильного цеха ДОК № 1 (г. Москва). Даны параметры режима сушки на ООО «Интар» (г. Москва) в модернизированной сушильной камере «Урал-72» с поперечно-горизонтальной циркуляцией агента сушки. Начальную влажность древесины определяли в соответствии с ГОСТ 16588–91. Применяя импульсные режимы сушки бука, можно сэкономить до 60 % электроэнергии.

**Ключевые слова:** пиломатериал из древесины бука, импульсная сушка, режимы сушки

**Ссылка для цитирования:** Курышов Г.Н., Косарин А.А. Импульсная сушка пиломатериалов из древесины бука в конвективных сушильных камерах // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 2. С. 76–80.  
 DOI: 10.18698/2542-1468-2018-2-76-80

**Б**ук лесной европейский (*Fagus sylvatica*) имеет и другие названия: английский, голландский, датский, французский, словенский и т. д. в зависимости от района произрастания. Плодоносить начинает с 40–50 лет. Кора стволов светло-серая, гладкая, на молодых ветвях красновато-бурая. Деревья бука европейского могут достигать высоты 45 м. Очищенный ствол имеет высоту около 15 м (обычно он бывает около 9 м) при диаметре 1,2 м, а иногда и больше. Цветет бук одновременно с распусканием листьев, цветы раздельнополюе. Бук, развивая широкие большие кроны, доживает до 500 лет. В пределах России встречаются 3 вида бука, различающиеся рядом признаков и ареалами [1, 2].

### Цель работы

Обобщение опыта использования импульсных режимов для сушки пиломатериалов из древесины бука в конвективных сушильных камерах.

### Материалы и методы исследования

Бук — безъядровая порода. В свежесрубленном виде древесина бледно-коричневого цвета, под действием внешних факторов изменяет свой цвет на красно-коричневый. Годовые кольца ясные и заметны благодаря уплотненной темной зоне осенней древесины. Сердцевинные лучи двух типов: одни очень тонки и незаметны, другие — средней ширины, хорошо видны и четко ограничены. Широкие лучи заметно расширя-

ются при пересечении годовых колец [3]. Древесина бука отличается плотностью и твердостью, которые зависят от места произрастания. Бук из Центральной Европы (словенский бук) и Румынии мягче и легче (плотность около 672 кг/м<sup>3</sup>), чем бук из Великобритании, Дании, Северной Европы (плотность около 720 кг/м<sup>3</sup>) [2]. В свежесрубленном состоянии древесина бука по основным механическим характеристикам похожа на древесину дуба. После сушки большинство показателей улучшаются, бук становится прочнее дуба при изгибе и при ударных нагрузках, превосходит дуб по жесткости и сопротивлению сдвигу на 20 %. [2].

Бук широко используется для производства мебели, столярных и токарных изделий, строительных конструкций, для покрытия полов.

Древесина бука относится к породам, трудно поддающимся сушке. Очень часто встречаются продольное, поперечное и винтовое коробление, растрескивание боковых поверхностей и торцов.

Первые опытные сушки пиломатериалов из древесины бука толщиной 50 мм начальной влажностью 70...73 % с использованием импульсной технологии были в 1992–1993 гг. проведены в сушильной камере УЛ-2М сушильного цеха ДОК № 1 (г. Москва). Всего было высушено около 30 м<sup>3</sup> пиломатериалов по второй категории качества. В период с 1995 по 2005 г. проводилась импульсная сушка пиломатериалов из



древесины бука в модернизированной сушильной камере «Урал-72» ООО «Интар» (г. Москва). Модернизация предусматривала замену теплового и циркуляционного оборудования, установку психрометрического узла и системы автоматического управления. Буковые пиломатериалы имели толщину 50 мм, длину от 4,2 до 5,0 м, начальная влажность варьировалась от 57 до 68 %. Процесс сушки включал в себя технологические операции прогрева (2...4 ч), многоступенчатую сушку (от 6 до 10 ступеней) и кондиционирование продолжительностью 8...10 ч. Температура сушильного агента в процессе сушки поддерживалась в диапазоне 50...78 °С. Общая продолжительность сушки составляла 20...26 сут, продолжительность операций «работа–пауза» — 2...3 ч. В процессе сушки в сушильный штабель закладывались контрольные образцы для контроля текущей влажности и сушильных напряжений в древесине. Всего было высушено около 60 м<sup>3</sup> буковых пиломатериалов толщиной 50 мм до конечной влажности 6...7 % по второй категории качества. С 2006 по 2012 г. импульсная сушка буковых пиломатериалов осуществлялась в сушильных камерах ООО «АТОН» (г. Красноармейск Московской обл.), ООО «АМТ» (пос. Лесной Пушкинского р-на), ООО «Концептум» (г. Ивантеевка, Московской обл.), а также в сушильных камерах учебно-производственных мастерских МГУЛ.

## Результаты и обсуждение

Результаты исследований физико-механических свойств пиломатериалов приведены в работах [4–6].

П.С. Серговский [7] описывает двухступенчатый режим сушки пиломатериалов из древесины бука толщиной 50 мм (табл. 1).

В справочнике по сушке древесины [8] приводятся данные о трехступенчатом режиме сушки пиломатериалов бука толщиной 50 мм (№ 6Б) (табл. 2).

Пятиступенчатое изменение параметров агента сушки предусмотрено режимом [9] для буковых пиломатериалов толщиной 50 мм (табл. 3).

Шестиступенчатое изменение параметров агента сушки предусмотрено режимом [10] для древесины бука толщиной 50 мм (табл. 4), где бук объединен с ясенем, кленом и лиственницей.

Восьмиступенчатое изменение параметров агента сушки приведено в табл. 5 для древесины бука, клена и лиственницы [11].

Одиннадцатиступенчатое изменение параметров режима сушки буковых пиломатериалов толщиной 50 мм, включающее операции прогрева и кондиционирование предусмотрено режимом № 12 [12] в табл. 6.

Т а б л и ц а 1  
Двухступенчатый режим сушки пиломатериалов из древесины бука толщиной 50 мм [7]  
Two-stage drying of sawn timber from beech wood 50 mm thick [7]

Влажность древесины $W$ , %	Температура агента сушки, °С	Температура мокрого термометра, °С	Степень насыщенности, %	Продолжительность влагообработки, ч
$W > 20$	80	75	81	16
$W < 20$	97	75	40	

Т а б л и ц а 2  
Трехступенчатый режим сушки пиломатериалов из древесины бука толщиной 50 мм [8]  
Three-stage drying of sawn timber from beech wood 50 mm thick [8]

Влажность древесины $W$ , %	Температура агента сушки, °С	Психрометрическая разность, °С	Степень насыщенности, %
$> 30$	57	3	85
30–20	61	6	74
$< 20$	77	22	34

Т а б л и ц а 3  
Пятиступенчатый режим сушки пиломатериалов из древесины бука толщиной 50 мм по [9]  
Five-step drying of sawn timber from beech wood 50 mm thick [9]

Средняя влажность древесины, %	Температура агента сушки, °С	Психрометрическая разность, °С	Степень насыщенности, %
$> 35$	56	3	84
35–25	59	5	77
25–20	63	6	74
20–15	69	11	58
$< 15$	78	21	36

Т а б л и ц а 4  
Шестиступенчатый режим сушки пиломатериалов из древесины бука толщиной 50 мм [10]  
Six-step drying of sawn timber from beech wood 50 mm thick [10]

Влажность древесины, %	Температура агента сушки, °С	Температура по мокрому термометру, °С	Степень насыщенности, %
$> 40$	56	52,5	82
40–30	60	55	72
30–20	63	54	62
20–15	66	53,5	52
15–10	69	53	44
$< 10$	71	49	31

Приведенные режимы сушки буковых пиломатериалов различаются начальной и конечной температурой, степенью насыщенностью сушильного агента, количеством ступеней и сочетанием пород древесины (табл. 7).

Кроме того, все вышеприведенные режимы сушки предусматривают в технологическом процессе использование водяного пара, который в настоящее время не применяется вследствие высокой стоимости и отсутствия на деревоперерабатывающих предприятиях парового хозяйства.

Решением данной проблемы является применение импульсной сушки древесины [13], предусматривающей использование влаги, испаряемой из древесины, вместо технологического пара, подаваемого в сушильное пространство камеры.

Т а б л и ц а 5

**Восьмиступенчатый режим сушки пиломатериалов из древесины бука, клена и лиственницы толщиной 50 мм [11]**  
**Eight-step drying of sawn timber from beech, maple and larch wood 50 mm thick [11]**

Влажность древесины, %	Температура агента сушки, °С	Психрометрическая разность, °С	Степень насыщенности, %
> 40	53	2,5	87
40–35	55	3,5	83
35–30	57	4,5	79
30–25	60	6,5	73
25–20	62	8,5	65
20–15	64	12	56
15–10	66	15	45
< 10	69	32	32

Т а б л и ц а 6

**Одиннадцатиступенчатый режим сушки пиломатериалов из древесины бука толщиной 50 мм [12]**  
**The eleven-step drying of sawn timber from beech wood 50 mm thick [12]**

Влажность древесины, %	Вид обработки	Температура агента сушки, °С	Температура мокрого термометра, °С	Степень насыщенности, %	Продолжительность обработки, ч
$W_n$	Прогрев	62	62	100	10–12
$W_n-45$	Сушка	56	53	85	–
45	Тепловлагообработка	59	59	100	6–8
45–35	Сушка	59	55	81	–
35	Тепловлагообработка	63	63	100	6–8
35–25	Сушка	63	57	74	–
25	Тепловлагообработка	69	68	96	6–8
25–15	Сушка	69	59	61	–
15	Тепловлагообработка	78	77	96	6–8
$15-W_k$	Сушка	78	59	40	–
$W_k$	Кондиционирование	78	67	61	12

*Примечание:  $W_n, W_k$  — начальная и конечная влажность древесины соответственно.*

Т а б л и ц а 7

**Сводная таблица различий в режимах сушки пиломатериалов из древесины бука толщиной 50 мм**  
**Summary table of differences in drying conditions for sawn timber from beech wood 50 mm thick**

Источник информации	Температура агента сушки, °С		Степень насыщенности, %		Количество ступеней	Сочетание пород
	начальная	конечная	начальная	конечная		
П.С. Серговский [7]	80	97	81	40	2	–
Е.С. Богданов [8]	57	77	85	34	3	Клен
Е.С. Богданов [9]	56	78	84	36	5	Клен
П.С. Серговский [10]	56	71	82	31	6	Ясень, клен, лиственница
П.В. Соколов [11]	53	69	87	32	8	Клен, лиственница
РТМ [12]	56	78	85	40	9	–

Режим импульсной сушки пиломатериалов из древесины бука толщиной 50 мм  
Mode of impulse drying of sawn timber from beech wood 50 mm thick

Время, сут	Температура агента сушки, °С	Режим сушки		Текущая влажность, %
		Время работы, ч	Время паузы, ч	
1	50	2	3	68,6
3	52	2	3	60,4
5	54	2	3	53,4
7	58	2	3	44,6
9	62	2	3	36,6
11	64	2	3	30
13	66	2	3	24,1
15	68	2	3	21,4
17	70	2	3	13,6
19	72	2	3	10,4
22	74	2	2,5	9,1
26	76	2	2	7,08

Параметры импульсной сушки буковых пиломатериалов приведены в табл. 8.

## Выводы

Практический опыт применения импульсных режимов подтвердил возможность их использования для сушки пиломатериалов из древесины бука толщиной 50 мм.

## Список литературы

- [1] Сукачев В.Н. Дендрология с основами лесной геоботаники. Л.: Гослестехиздат, 1934. 616 с.
- [2] Древесные породы мира. В 3 т. Т. 2 / под ред. Г.И. Воробьева. М.: Лесная пром-сть, 1982. 352 с.
- [3] Джонс В.С. Древесные породы, их строение и отличительные признаки. М.: Гослестехиздат, 1932. 171 с.
- [4] Перельгин Л.М. О физико-механических свойствах древесины бука // Сб. работ по исследованию физико-механических свойств древесины / отв. ред. М.П. Смирнов-Чубриков. М.: Гослестехиздат, 1933. 132 с.
- [5] Шуханова И., Горбачева Г.А. Влияние термической обработки на плотность и разбухание древесины бука лесного // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2012. № 2 (85). С. 154–158.
- [6] Горбачева Г.А., Уголев Б.Н., Санаев В.Г., Белковский С.Ю. Характеризация эффекта памяти и формы древесины бука методом термомеханической спектроскопии // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2016. № 20. С. 10–14.
- [7] Серговский П.С. Исследование реологических свойств и режимов сушки древесины бука и лиственницы // Матер. науч.-техн. конф. по итогам научно-исследовательских работ 1965 года. Рефераты докладов. Секция технологии деревообработки. Москва, 11–27 апреля 1966 г. М.: МЛТИ, 1966. 42 с.
- [8] Богданов Е.С., Козлов В.А., Кунтыш В.Б., Мелехов В.И. Справочник по сушке древесины. М.: Лесная пром-сть, 1990. 304 с.
- [9] Богданов Е.С. Расчет, проектирование и реконструкция лесосушильных камер. М.: Экология, 1993. 352 с.
- [10] Серговский П.С. Гидротермическая обработка и консервирование древесины. М.: Лесная пром-сть, 1968. 448 с.
- [11] Соколов П.В. Сушка древесины. М.: Гослестехиздат, 1955. 418 с.
- [12] Руководящие технические материалы по технологии камерной сушки пиломатериалов. Архангельск: Научдревпром – ЦНИИМОД, 2000. 125 с.
- [13] Расев А.И., Курышов Г.Н. Технология сушки пиломатериалов в аэродинамических камерах // Деревообработка в России, 1998. № 1. С. 3–4.

## Сведения об авторах

**Курышов Григорий Николаевич** — канд. техн. наук, доцент кафедры древесиноведения и технологии деревообработки МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), [kuryshov@mgul.ac.ru](mailto:kuryshov@mgul.ac.ru)

**Косарин Анатолий Александрович** — канд. техн. наук, доцент, заместитель директора ООО «Форсклад», [kosarin2008@yandex.ru](mailto:kosarin2008@yandex.ru)

Поступила в редакцию 15.01.2018.

Принята к публикации 22.02.2018.

## IMPULSE DRYING OF SAWS FROM WOOD BUCK IN CONVECTIVE DRYING CAMERAS

G.N. Kuryshov<sup>1</sup>, A.A. Kosarin<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>ООО «Форсклад», 40 st. Partizanskaya, Moscow, 121359, Russia

kosarin2008@yandex.ru

A review of literature sources on the modes and parameters of drying of sawn timber from beech wood with a thickness of 50 mm is made. The drying regimes are shown, depending on the current moisture content of the sawn timber presented in the works of Sokolov P.V., Sergovskiy P.S., Bogdanova E.S. and RTM on the technology of chamber drying of sawn timber. The presented modes differ in the initial and final temperature of the drying agent by the degree of saturation at the initial and final stages of the drying process. The drying process in different sources includes 2 to 9 steps. The first impulse drying of sawn timber from beech wood began in 1992 in the drying shop of Woodworking Integrated Plant no. 1 (Moscow) in the drying chamber UL-2M. Also the parameters of the drying regime are shown at «Intar» (Moscow), on a modernized drying chamber Ural-72 with transversely horizontal circulation of the drying agent. The control over the humidity of the wood during the drying process was carried out by the method of control samples. The development of drying stresses is based on force samples. The initial moisture content of the wood was determined in accordance with GOST 16588–91. The use of pulse regimes allows reducing energy consumption when drying beech to 60 %.

**Keywords:** beech timber, impulse drying, drying modes

**Suggested citation:** Kuryshov G.N., Kosarin A.A. *Impul'snaya sushka pilomaterialov iz drevesiny buka v konvektivnykh sushil'nykh kamerakh* [Impulse drying of saws from wood buck in convective drying cameras]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 2, pp. 76–80. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-2-76-80

### References

- [1] Sukachev V.N. *Dendrologiya s osnovami lesnoy geobotaniki* [Dendrology with the basics of forest geobotany]. Leningrad: Gosleshtekhizdat, 1934, 616 p.
- [2] *Drevesnye porody mira. V. 3 t. 2* [Wood species of the world, in 3 vol. V. 2.]. Ed. G.I. Vorob'ov. Moscow: Lesnaya prom-st' Publ. [Forest Industry], 1982, 352 p.
- [3] 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.
- [4] Pereygin L.M. *O fiziko-mekhanicheskikh svoystvakh drevesiny buka* [On the physical and mechanical properties of beech wood]. Collection of works on the study of physical and mechanical properties of wood. Moscow: Gosleshtekhizdat [State Forest Technical Publishing], 1933, 132 p.
- [5] Shukhan'ova I., Gorbacheva G.A. *Vliyaniye termicheskoy obrabotki na plotnost' i razbukhanie drevesiny buka lesnogo* [Influence of heat treatment on the density and swelling of the wood of the beech forest]. *Moscow State Forest University Bulletin — Lesnoy vestnik*, 2012, no. 2 (85), pp. 154–158.
- [6] Gorbacheva G.A., Ugolev B.N., Sanaev V.G., Belkovskiy S.Yu. *Kharakterizatsiya effekta pamyati i formy drevesiny buka metodom termomekhanicheskoy spektrometrii* [Characterization of the memory effect and the shape of beech wood by the method of thermomechanical spectrometry]. *Moscow State Forest University Bulletin — Lesnoy vestnik*, 2016, no. 20, pp. 10–14.
- [7] Sergovskiy P.S. *Issledovanie reologicheskikh svoystv i rezhimov sushki drevesiny buka i listvennitsy* [Investigation of rheological properties and modes of drying of beech and larch wood]. Scientific and technical conference, abstracts of reports. Section of technology of wood processing. Moscow: MLTI, 1966, 42 p.
- [8] 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.
- [9] Bogdanov E.S. *Rashchet, proektirovaniye i rekonstruktsiya lesosushil'nykh kamer* [Calculation, design and reconstruction of timber drying chambers]. Moscow: Ecology Publ., 1993, 352 p.
- [10] Sergovskiy P.S. *Gidrotermicheskaya obrabotka i konservirovaniye drevesiny* [Hydrothermal treatment and preservation of wood]. Moscow: Lesnaya prom-st' Publ. [Forest Industry], 1968, 448 p.
- [11] Sokolov P.V. *Sushka drevesiny* [Drying of wood]. Moscow: Gosleshtekhizdat, 1955, 418 p.
- [12] *Rukovodyashchie tekhnicheskkiye materialy po tekhnologii kamernoy sushki pilomaterialov* [Guidance technical materials on the technology of chamber drying of sawn timber]. Arkhangelsk: Nauchdrevprom – TsNIIMOD Publ., 2000, 125 p.
- [13] 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.

### Authors' information

**Kuryshov Grigoriy Nikolaevich** — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Chair of Wood Science and Technology of Woodworking of BMSTU (Mytishchi branch), kuryshov@mgul.ac.ru

**Kosarin Anatoliy Aleksandrovich** — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor, Deputy Director of «Forsklad», kosarin2008@yandex.ru

Received 15.01.2018.

Accepted for publication 22.02.2018.



## ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ДЕРЕВЯННОГО ДОМОСТРОЕНИЯ

А.Н. Чемоданов, Е.А. Минина, Е.Ю. Ямщиков

Поволжский государственный технологический университет, 424000, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, д. 3

ChemodanovAN@volgatech.net

Рассмотрены деревянное домостроение и перспективы его развития в России. Особое внимание уделено разнообразию видов деревянного домостроения. Популярность деревянного домостроения обусловлена экологичностью, улучшением микроклимата помещения и малым коэффициентом теплопроводности (по сравнению с бетоном или сталью). Древесина является возобновляемым материалом, но возобновления можно добиться только за счет рационального использования древесного материала и ухода за лесопосадками. Основная цель работы — создание системы показателей, которые позволят потенциальному потребителю определиться с выбором одного из направлений деревянного домостроения. Государственные программы предполагают увеличение доли деревянного домостроения на всей территории России. Планируется частичный переход от традиционного деревянного малоэтажного домостроения к многоэтажному. Необходима разработка новых нормативных документов и строительных норм взамен устаревших.

**Ключевые слова:** деревянное домостроение, критерии оценки деревянного домостроения, доступное жилье, выгода деревянных домов, клееные деревянные панели

**Ссылка для цитирования:** Чемоданов А.Н., Минина Е.А., Ямщиков Е.Ю. Перспективы развития деревянного домостроения // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 2. С. 81–86.  
DOI: 10.18698/2542-1468-2018-2-81-86

Деревянные дома в России во все времена пользовались большей популярностью по сравнению с жильем из других материалов. Помимо того, что древесина является возобновляемым материалом, она обеспечивает хороший климат (условия проживания) в помещении. По растяжению вдоль волокон древесина сопоставима со сталью, но значительно уступает ей в плотности. Древесина имеет малый коэффициент теплопроводности, что позволяет возводить деревянные дома более тонкостенными по сравнению с кирпичными или железобетонными постройками. К примеру, стена из древесины сосны толщиной 100 мм эквивалентна по теплопроводности стене из кирпичной кладки толщиной 580 мм или стене из железобетона толщиной 1130 мм. А при соблюдении всех требований при возведении деревянных домов, с учетом качества материала, его влажности и некоторых других факторов, древесина является стойкой к воздействию химически агрессивных веществ.

В середине XX в. был взят курс на расширенное использование сборного железобетона и кирпичных конструкций. Стали снижаться объемы деревянного домостроения. Динамика применения древесины в строительстве: 1928 г. — 100 %; 1955 г. — 40 %; 1980 г. — 20 %; 2005 г. — 10 %. Направления использования древесины в строительстве: 50 % — строительные-монтажные работы (опалубка, леса и т. д.), 30 % — производство столярных изделий, 8 % — обрешетка и настилы, 5 % — малоэтажное домостроение, 3 % — опоры ЛЭП; 3 % — производство шпал [1]. Между тем индустрия деревянного домостроения имеет

огромные возможности для расширения. Это обусловлено рядом факторов: низкой стоимостью, малыми сроками строительства, энергоэффективностью, полезными свойствами деревянных домов, универсальностью строительных технологий, позволяющих удовлетворять потребности покупателей из различных сегментов рынка.

### Цель работы

Цель работы — разработка системы показателей оценки направлений деревянного домостроения, обоснование перспектив его развития.

К началу XXI в. в России на долю индивидуального домостроения приходилось до 40 % вводимой жилой площади, причем большая часть ее строилась из кирпича и бетона. Однако с 2010 г. ситуация стала изменяться в пользу деревянного домостроения. Намечились основные направления деревянного домостроения в зависимости от конструкционного исполнения: 1) бревенчатое; 2) брусчатое; 3) каркасное; 4) панельное.

Для оценки предпочтительности того или иного направления используется система показателей. Сюда входят сроки возведения дома, его долговечность, внешний вид, отсутствие негативных условий для комфортного проживания человека и многое другое. Наиболее важный показатель — стоимость 1 м<sup>2</sup> общей площади жилья. Наименьшую удельную стоимость 1 м<sup>2</sup> площади имеют бревенчатые дома из обычного (так называемые рубленые дома) или оцилиндрованного бревна. Преимущество последних — красивый внешний вид, широкий диапазон конструкций и планировки домов, использование промышлен-

ных (заводских) методов изготовления элементов домов и их строительства [2, 3].

Брусчатые дома строят из пиленого или клееного бруса. В первом случае технология изготовления бруса и используемое оборудование относительно просты. Но чтобы выдержать нужную теплопроводность стеновых элементов, требуется крупномерное сырье. Клееный брус дороже, но для его наполнения можно использовать низкосортную древесину, он может содержать утеплитель. Внутренняя ламель изготавливается из благоприятных для организма человека пород: липы, кедра и т. п., наружная — из устойчивых к внешнему воздействию пород или термомодифицированной древесины.

Каркасные и панельные дома — самые дорогие, но при их строительстве в наибольшей степени применяются промышленные методы. Современная деревообработка и строительство характеризуются бурными темпами развития технологии и техники, больших успехов достигла химическая промышленность.

Термомодификация древесины, ее антисептирование и импрегнирование, применение клееных и плитных материалов обеспечивают перспективность и эффективность использования древесины в качестве строительного материала [4–9]. Лабораторные исследования кафедры деревообрабатывающих производств Поволжского государственного технологического университета показали высокое качество средств огнезащиты и тонирования древесины производства НПО «НОРТ» (г. Ижевск). Устойчивость к воздействию атмосферных факторов и вредителей древесины деревянные конструкции, обработанные антисептиками, антипиренами и красителями, сохраняют не один десяток лет.

В этих условиях удельная стоимость строительства 1 м<sup>2</sup> жилой площади не всегда определяет предпочтительность того или иного вида жилья. Более объективен комплексный показатель, представляющий собой сумму удельных затрат на строительство жилья к моменту ввода его в эксплуатацию с затратами на содержание жилья за определенный срок в пригодном для его эксплуатации состоянии. Дело в том, что затраты на защиту древесины от гниения, горения, поражения вредителями древесины со временем возрастают и подчас жилье с высокими удельными затратами на его изготовление и ввод в строй по истечении некоторого срока становится экономичнее первоначально более дешевого жилья. Срабатывает принцип «скупой платит дважды». Можно предположить, что граница между отдельными типами домов условная и будет изменяться при развитии технологии и оборудования, разработке новых материалов, используемых в строительстве [2, 3].

Безусловно, древесине присущи и недостатки: зависимость физико-механических свойств от внешних факторов (влажности и температуры); подверженность гниению и горению; анизотропия древесины; изменение формы и размеров деревянных изделий под воздействием внешних факторов. Однако сегодня многие из перечисленных недостатков можно устранить или существенно снизить их влияние на древесину.

## История и перспективы развития деревянного домостроения

В соответствии с планами Правительства России российский рынок домостроения должен вырасти до 150 млн м<sup>2</sup> в год исходя из того, что в развитых странах рост составляет 1 м<sup>2</sup> в год на человека. Большая доля вводимых на территории России мощностей будет предназначена для производства каркасных домов. Каркасное домостроение уже отлично зарекомендовало себя как в Европе, так и в России. Основным плюсом данной технологии является быстрота возведения. В настоящее время мощностные показатели этой области очень малы, но имеются предпосылки для роста [10].

Одним из важнейших приоритетов внутренней политики правительства является обеспечение человека всем необходимым для достойного проживания, в частности — обеспечение всех доступным жильем по доступной цене. Начинают разрабатываться программы по постройке целых коттеджных поселков для постоянного проживания. Эти программы позволят обеспечить средний класс доступным жильем и будут способствовать развитию сельских регионов нашей страны, откуда в настоящее время происходит отток населения в связи с недостатком рабочих мест и плохими условиями проживания [11].

Большая часть наших сограждан проживает в многоквартирных кирпичных (панельных) домах, и их доля до сих пор увеличивается. Однако люди начинают задумываться о комфортном и просторном частном доме. Ничто не решит эту проблему лучше, чем деревянный дом, который является не только комфортным и просторным, но и экологически чистым. Можно выделить несколько технологий производства деревянных домов. Это дома из массивной древесины (бревна ручной рубки или оцилиндрованные; брусья клееные или пиленые) и дома из панелей [12].

Ввод в эксплуатацию производственных мощностей для деревянного домостроения на качественно новом уровне необходим для России. Но, к сожалению, на сегодняшнем этапе развития наш лесопромышленный комплекс не может удовлетворить потребностей в собственной дешевой и качественной продукции. Причиной этому — низкий технологический уровень производства [13].

Россия богата лесными ресурсами: на нашу долю приходится примерно 20 % мирового объема древесины. Вот почему дома из этого доступного материала получили большое распространение. Древесина не только экологична, но и в суровые морозы хорошо удерживает в доме тепло. Ежегодно в России вырубается 1,2 млн га лесных насаждений и производится около 33 млн м<sup>3</sup> бруса, которого вполне достаточно для строительства почти 85 млн м<sup>2</sup> жилья. Развитие программы деревянного домостроения сдерживает тот факт, что около 80 % производимого бруса вывозится на экспорт, в основном в Китай, где по экологическим причинам вырубка леса запрещена.

Учитывая перспективы предстоящего энергетического кризиса, можно предположить, что древесина становится стратегическим материалом. Поэтому необходимо безотлагательно развивать государственную программу производства, сохранения и использования лесных ресурсов. И чем быстрее государство обратится к этой проблеме, тем менее пагубны и болезненны будут ее последствия в недалеком будущем.

В зимнее время почти треть энергии в мире тратится на отопление; в России эта цифра достигает 50 %. В начале 2016 г. Минстрой России рекомендовал расширить традиционную технологию строительства домов из древесины с переходом от малоэтажного домостроения к трех-четырёхэтажному строительству. Деревянные дома дешевле каменных, строятся быстрее, благодаря их тепловым свойствам ощутимую экономию получит ЖКХ.

Существуют разные направления деревянного домостроения, выбор зависит от желания и удобностей потребителя. В каждом регионе есть технология, которая является традиционной, доминирующей. Выбор того или иного направления обоснован климатом региона, доступностью лесного сектора, наличием производственных мощностей. С ростом количества знаний, появлением новых материалов, а также в связи с изменением производственных технологий появляются новые способы деревянного домостроения. Все это влияет на запросы потребителей. Помимо этого, можно наблюдать своего рода обмен технологиями между регионами. Данный процесс естественен, так как каждая существующая технология имеет и преимущества, и недостатки. В развитых странах можно выбрать любую из существующих технологий строительства дома, даже если она не является традиционной для данного региона. Для России же деревянное домостроение было традиционным на протяжении нескольких веков. Поэтому с большой степенью уверенности можно предположить, что все новые производственные технологии получат распространение на всей территории России [13–15].

Как в Европе, так и в Америке широкое распространение получила CLT-технология (Cross Laminated Timber). CLT-панели — это новое поколение инженерной мысли в деревянном домостроении. Разработанная в Европе CLT-технология уже занимает одну из лидирующих позиций в деревянном домостроении. Перекрестно-клееные CLT-панели стали широко применяться с 2008–2010 гг. Они могут заменить самые разные строительные материалы.

Квалифицированные строители с полной уверенностью говорят, что CLT-панели — это оптимальное решение в том случае, когда вес здания является критическим фактором. Помимо малого веса, многослойные клееные деревянные панели имеют еще ряд преимуществ, таких как быстрая сборка, шумоизоляция и теплоизоляция. Быстрое возведение зданий уменьшает время монтажа в два раза по сравнению с железобетонными конструкциями. Высокая прочность панелей позволяет заменять ими конструкции из железобетона. Кроме того, CLT-панели создают здоровый микроклимат внутри помещения. Согласно оценкам экспертов, использование деревянных панелей на основе технологии CLT является хорошей альтернативой бетону и стали.

Деревянное домостроение получило широкое распространение в Финляндии — там на его долю приходится 79 % от общего объема строительства и 90 % объема малоэтажного строительства. А в Швеции, где деревянное строительство до 1994 г. было запрещено, уже к 2017 г. доля деревянного домостроения достигла 90 %. Помимо Финляндии и Швеции, деревянное домостроение применяется в США, Южной Корее, Германии. А в Норвегии уже возведены жилые многоэтажные дома из дерева высотой 9 и 13 этажей. Кроме того, имеется ряд утвержденных проектов для строительства многоэтажных деревянных зданий [16].

Процент использования современной продукции деревянного домостроения в России значительно ниже, чем в европейских странах. В нашей стране традиционно развито малоэтажное деревянное домостроение, в то время как в мире наряду с малоэтажным активно развивается и многоэтажное деревянное домостроение. В связи с этим Минпромторгом России поставлена цель увеличить использование древесины в деревянном домостроении. Требуется решить ряд ключевых проблем, которые являются тормозящим фактором для расширенного применения продукции деревянного домостроения. Среди них — устаревшие нормативы на деревянные конструкции, отсутствие строительных нормативов для деревянных многоэтажных зданий, а также несовершенство нормативной базы в части пожарной безопасности и наличие так называемого серого рынка.



Минпромторг России предлагает реализовать приоритетный проект (соответствующее предложение уже внесено в Федеральный проектный офис Правительства России), согласно которому планируется увеличить долю применения продукции деревянного домостроения в общем объеме строительства на территории Российской Федерации к концу 2025 г. до 20 % [17].

При выборе какого-либо направления деревянного домостроения необходимо принимать во внимание способ изготовления, сроки возведения, эксплуатационные свойства. Также одним из важнейших факторов выбора направления служит стоимость 1 м<sup>2</sup> общей площади дома. По величине этого показателя последовательность типов домов следующая: бревенчатые и брусчатые дома, каркасные и панельные дома. В связи с совершенствованием технологий и методов строительства можно ожидать изменения рейтингового ряда. Цена 1 м<sup>2</sup> может учитываться на тот момент, когда дом передают в эксплуатацию. Но более наглядным и объективным системным показателем будет показатель, охватывающий сумму капиталовложений на момент ввода дома в эксплуатацию и сумму вложений для содержания дома в пригодном состоянии в течении какого-то фиксируемого срока [18–20].

## Выводы

1. Для применения системного показателя оценки эффективности одного из типов деревянных домов необходимо осуществление совокупности государственных мероприятий. На основании анализа экспертных оценок по каждому типу домов необходимо установить предельный срок их эксплуатации и в течении этого срока обязать изготовителей домов гарантировать надлежащее состояние домов и пригодность их для проживания. Стоимость единицы жилой площади на момент ввода дома в эксплуатацию следует определять как сумму затрат на строительство дома с затратами на ее содержание, отнесенную к сроку эксплуатации. Этот показатель позволит оценить и сравнить деревянные дома различных типов в денежном исчислении.

2. Необходима государственная программа производства, сохранения и использования лесных ресурсов. Цель программы – обеспечение жизнеспособности человеческого общества на Земле. Основные разделы: производство лесных ресурсов, их сохранение и использование. Несколько наиболее важных аспектов программы: обеспечение человечества производными леса, экологические составляющие, энергетическая перспектива. Счет идет на десятки лет. Большинство стран мира уже озадачились этими вопросами.

## Список литературы

- [1] Калугин А.В. Деревянные конструкции. М.: АСВ, 2008. 288 с.
- [2] Чемоданов А.Н., Матвеев Н.М. Малоэтажное деревянное домостроение // *Science and World*, 2014. № 3 (7). С. 215–218.
- [3] Чемоданов А.Н. Ближайшие перспективы малоэтажного деревянного домостроения. Развитие науки и образования в современном мире. М.: Консалт, 2014. 140 с.
- [4] Чемоданов А.Н., Минина Е.А. Проблемы сохранности древесины // *Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика*, 2015. Т. 3. № 9–3, вып. 43. с. 238–241.
- [5] Минина Е.А., Чемоданов А.Н. Современные проблемы сушки лесоматериалов // *Veda a technologie: krok do budoucnosti – 2016, Materialy XII Mezinarodni Vedecko-Prakticka Konference «Moderní Vymoženosti Vědy – 2016»*, Praha, 22–30 января 2016 г. Praha: Publishing House «Education and Science», 2016, pp. 81–83.
- [6] Крейдлин Л.Н., Беляев В.М., Антонова Р.П. Производство деревянных домов. М.: Лесная пром-сть, 1979, 312 с.
- [7] Подобин А.А. Технология производства малоэтажных деревянных домов мелкопанельной конструкции. М.: ВНИПИЭИлеспром, 1997. 26 с.
- [8] Чемоданов А.Н., Царев Е.М., Анисимов С.Е. Сушка древесины: справочные материалы. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2005. 240 с.
- [9] Чемоданов А.Н., Царев Е.М. Лес и лесопродукция: справочные материалы. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2002. 304 с.
- [10] Каталог проектов: дома и бани из клееного бруса. М.: Русский завод, 2012. 147 с.
- [11] Чемоданов А.Н. Повышение эффективности жилищного строительства из оцилиндрованных бревен // *Матер. IV Междунар. науч.-практ. конф. «Актуальные вопросы науки, технологии и производства»*, Санкт-Петербург, 27–30 декабря 2014 г. СПб.: Междунар. союз ученых «Наука. Технологии. Производство», 2014. С. 86–89.
- [12] Перельгин Д.М. Стандартизация методов испытания древесины. М.: Стандартгиз. 1936, 247 с.
- [13] Оборудование для деревообработки: каталог. М.: Ассоциация Ками, 2014, 199 с.
- [14] Чемоданов А.Н., Галимов А.В., Михайлов А.Ю. СВЧ-вакуумная камера для сушки оцилиндрованных бревен. Пат. № 2490570 Российская Федерация. Заявка № 2011128515 от 06.08.2011. Опубл. 20.08.2013.
- [15] Чемоданов А.Н., Царев П.Е. Буферный магазин с универсальным отсекателем. Пат. № 2476309 Российская Федерация. Заявка № 20111109485 от 14.03.2011. Опубл. 27.02.2013.
- [16] Великанова М.Д. Обзор возможностей деревянного домостроения // *Перспективы деревянного домостроения. Новый горизонт. XXV Международный фестиваль «Зодчество–2017»*. Москва, 5–7 октября 2017 г., Выставочный комплекс «Гостиний двор». [Электронный ресурс] URL: <http://www.zodchestvo.com/festival/>
- [17] Евтухов В. Леса и деревообработка: от «кругляка» до ЦБК / Восточный экономический форум. ДВФУ, Владивосток, 6–7 сентября 2017 г. URL: <https://forumvostok.ru/programme/>
- [18] Thelander S., Jansen H. Timber Engineering // John Wiley & Sons Ltd, 2003, T. X, 446 p.
- [19] Serrano E. Adhesive joints in timber engineering. Division of Structural Mechanics, LTH, Lund University. Sweden Lund: KFS i Lund AB, 2000, 138 p.
- [20] Минина Е.А., Чемоданов А.Н. Целесообразность обеспечения сохранности древесины // *Materials of the XII International Scientific and Practical Conference «Modern Scientific Potential – 2016»*. Technical Sciences. Physics. 2016, April 30 — May 7. Sheffield, England: Publishing House «Education and Science», 2016, pp. 24–26.



## Сведения об авторах

**Чемоданов Александр Николаевич** — канд. техн. наук, профессор, заведующий кафедрой деревообрабатывающих производств Поволжского государственного технологического университета, ChemodanovAN@volgatech.net

**Минина Екатерина Александровна** — магистрант кафедры деревообрабатывающих производств Поволжского государственного технологического университета, Ch.ka\_89@mail.ru

**Ямщиков Евгений Юрьевич** — аспирант кафедры деревообрабатывающих производств Поволжского государственного технологического университета, oe.evgeniyi.ru@mail.ru

Принята к публикации 24.01.2018.

Поступила в редакцию 28.02.2018.

## DEVELOPMENT PROSPECTS OF WOODEN BUILDING HOUSE

**A.N. Chemodanov, E.A. Minina, E.Yu. Yamshchikov**

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

ChemodanovAN@volgatech.net

This article covers the area of wooden housing construction and prospects for its development in Russia and focuses on the diversity of types of wooden housing construction. The popularity of wooden housing construction lies in environmental friendliness, improvement of the microclimate in the room and a low coefficient of thermal conductivity, compared with concrete and steel. In addition, wood is a renewable material, which we can achieve exclusively by rational use of wood material and care for tree plantings. The main purpose of this article is to develop system indicators that will allow a potential consumer to decide on the election of one of the areas of wooden housing construction. Currently, state programs are being implemented through which it is planned to increase the share of wooden housing construction throughout the territory of the Russian Federation. In particular, a partial transition from traditional wooden low-rise housing to a multi-storey house is planned. Thus, it is planned to develop new regulatory documents and building codes, which at the moment in Russia are obsolete.

**Keywords:** wooden housing construction, evaluation criteria wooden housing construction, affordable housing, advantages wooden houses, glued wooden panels

**Suggested citation:** Chemodanov A.N., Minina E.A., Yamshchikov E.Yu. *Perspektivy razvitiya derevyannogo domostroeniya* [Development prospects of wooden building house]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 2, pp. 81–86. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-2-81-86

## References

- [1] Kalugin A.V. *Derevyannye konstruksii* [Wooden constructions]. Moscow: ASV Publishing House, 2008, 288 p.
- [2] Chemodanov A.N., Matveev N.M. *Maloetazhnoe derevyannoe domostroenie* [Low-rise wooden housing construction]. *Science and World*, 2014, no. 3 (7), pp. 215–218.
- [3] Chemodanov A.N. *Blizhayshie perspektivy maloetazhnogo derevyannogo domostroe-niya. Razvitie nauki i obrazovaniya v sovremennom mire* [The nearest prospects of low-rise wooden housing construction. Development of science and education in the modern world]. Moscow: Konsalt Publ., 2014, 140 p.
- [4] Chemodanov A.N., Minina E.A. *Problemy sokhrannosti drevesiny* [Problems of timber preservation]. [Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice], 2015, v. 3, no. 9–3, iss. 435, pp. 238–241.
- [5] Minina E.A., Chemodanov A.N. *Sovremennye problemy sushki lesomaterialov* [Modern problems of drying timber]. [Science and Technology: A Step to the Future – 2016. Materials XII International Science-Practical Conference]. «Moderní Vymoženosti Vědy – 2016», Praha, 22–30 yanvary 2016 g. Praha: Publishing House «Education and Science», 2016, pp. 81–83.
- [6] Kreydlin L.N., Belyaev V.M., Antonova R.P. *Proizvodstvo derevyannykh domov* [Manufacture of wooden houses]. Moscow: Lesnaya prom-st' [Forest Industry] Publ., 1979, 312 p.
- [7] Podobin A.A. *Tekhnologiya proizvodstva maloetazhnykh derevyannykh domov melko-panel'noy konstruksii* [The technology of production of low-rise wooden houses of small-panel construction]. Moscow: VNIPIEIllesprom, 1997, 26 p.
- [8] Chemodanov A.N., Tsarev E.M., Anisimov S.E. *Sushka drevesiny* [Drying of wood]. Reference materials. Yoshkar-Ola: MarSTU, 2005, 240 p.
- [9] Chemodanov A.N., Tsarev E.M. *Les i lesoproduktsiya* [Forest and timber products]. Reference materials. Yoshkar-Ola: MarGTU, 2002, 304 p.
- [10] *Katalog proektov: doma i bani iz kleenogo brusa* [Catalog of projects: houses and baths from glued beams]. Moscow: Russkiy zavod [Russian Factory] Publ., 2012, 147 p.
- [11] Chemodanov A.N. *Povyshenie effektivnosti zhilishchnogo stroitel'stva iz otsilindrovannykh breven* [Improvement of the efficiency of housing construction from rounded logs]. Materials of the IV International Scientific and Practical Conference «Actual Problems of Science, Technology and Production» Sankt-Peterburg, 27–30 December, 2014. Saint-Petersburg: International Union of Scientists «Science. Technologies. Production», 2014, pp. 86–89.

- [12] Pereygin D.M. *Standartizatsiya metodov ispytaniya drevesiny* [Standardization of methods for testing wood]. Moscow: Standartgiz Publ., 1936, 247 p.
- [13] *Oborudovanie dlya derevoobrabotki: katalog* [Equipment for woodworking]. Moscow: Assotsiatsiya Kami, 2014, 199 p.
- [14] Chemodanov A.N., Galimov A.V., Mikhaylov A.Yu. *SVCh-vakuumnaya kamera dlya sushki otsilindrovannykh breven* [Micro-wave-vacuum chamber for drying round logs]. Patent no. 2490570 RF. 20.08.2013.
- [15] Chemodanov A.N., Tsarev P.E. *Bufernyy magazin s universal'nym otsekatelem* [Buffer store with universal cut-off]. Patent no. 2476309 RF. 27.02.2013.
- [16] Velikanova M.D. *Obzor vozmozhnostey derevyannogo domostroeniya* [A review of the possibilities of wooden housing construction]. Perspektivy derevyannogo domostroeniya. Novyy gorizont. XXV Mezhdunarodnyy festival' «Zodchestvo – 2017» Moskva, 5–7 oktyabrya 2017 g., Vystavochnyy kompleks «Gostinyy dvor». URL: <http://www.zodchestvo.com/festival/>
- [17] Evtukhov V. *Lesa i derevoobrabotka: ot «kruglyaka» do TSBK* [Forests and woodworking: from the roundwood to the pulp and paper mill]. Vostochnyy ekonomicheskiy forum 2017 g. URL: <https://forumvostok.ru/programme/>
- [18] Thelandersson S., Jarsen H. *Timber Engineering*. John Wiley & Sons Ltd, 2003, T. X, 446 p.
- [19] Serrano E. *Adhesive joints in timber engineering*. Division of Structural Mechanics, LTH, Lund University. Sweden Lund: KFS i Lund AB, 2000, 138 p.
- [20] Minina E.A., Chemodanov A.N. *Tselesoobraznost' obespecheniya sokhrannosti dre-vesiny* [Expediency of preservation of wood]. Materials of the XII International Scientific and Practical Conference «Modern Scientific Potential – 2016». Technical Sciences. Physics. 2016, April 30 — May 7. Sheffield, England: Publishing House «Education and Science», 2016, p. 24–26.

## Authors' information

**Chemodanov Aleksandr Nikolaevich** — Cand. Sci. (Tech.), Professor, Head of the Department of Woodworking Industries of Volga State University of Technology, ChemodanovAN@volgatech.net

**Minina Ekaterina Aleksandrovna** — master's Degree student of the Department of Woodworking Industries of Volga State University of Technology, Ch.ka\_89@mail.ru

**Yamshchikov Evgeniy Yur'evich** — pg. of the Department of Woodworking Industries of Volga State University of Technology, oe.evgeniyi.ru@mail.ru

Received 24.01.2018.

Accepted for publication 08.02.2018.

## ПРИМЕНЕНИЕ ОТХОДОВ ЛЕСОПИЛЕНИЯ ДЛЯ ОЧИСТКИ ПОВЕРХНОСТНЫХ СТОКОВ НА ОБЪЕКТАХ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Т.А. Гаврилов, В.Д. Евстигнеев, М.И. Зайцева, Г.Н. Колесников, Ю.В. Никонова

Петрозаводский государственный университет (ФГБОУ ВО «ПетрГУ»), 185910, Республика Карелия, г. Петрозаводск, пр-т. Ленина, д. 33

[gavrilov@petsu.ru](mailto:gavrilov@petsu.ru)

Совершенствование технологий лесопиления позволяет уменьшить количество отходов, однако полностью избавиться от них невозможно. От 11 до 19 % объема пиловочного сырья, в зависимости от способа пиления, превращается в опилки. Проблема рационального использования отходов лесопиления становится все более актуальной, поскольку в современных условиях возрастают требования к экономической эффективности и экологической безопасности производства. Опилки используют как топливо, в том числе как сырье для выпуска пеллет и топливных брикетов, а также в производстве строительных материалов, в гидролизной промышленности. Однако до 40 % опилок остаются бесхозными, создают опасность возникновения пожаров и, подвергаясь воздействию атмосферного воздуха, влаги, бактерий, грибов, насекомых и т. д., являются опасными с экологической точки зрения. Поэтому необходимо расширение спектра использования отходов лесопиления. Цель работы — повышение эффективности использования отходов лесопиления в качестве сорбентов в цилиндрических фильтрах поверхностных стоков на объектах транспортной инфраструктуры. Методология исследования базируется на подходах системного анализа, реализованных на общенаучном, конкретно-научном и технологическом уровнях с учетом как известных по литературе данных, так и разработок авторов. Приведен краткий обзор известных по литературе экспериментальных и теоретических исследований, результаты которых необходимы для достижения цели работы. Обоснована целесообразность использования отходов лесопиления в устройствах для очистки и фильтрования поверхностных стоков дорог. Предложено техническое решение радиального фильтра поверхностных стоков дорог, которое позволяет повысить эффективность очистки загрязненной воды. Новизна технического решения подтверждена результатами патентного поиска.

**Ключевые слова:** отходы лесопиления, опилки как сорбент, поверхностные стоки

**Ссылка для цитирования:** Гаврилов Т.А., Евстигнеев В.Д., Зайцева М.И., Колесников Г.Н., Никонова Ю.В. Применение отходов лесопиления для очистки поверхностных стоков на объектах транспортной инфраструктуры // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 2. С. 87–94.  
DOI: 10.18698/2542-1468-2018-2-87-94

Совершенствование технологий лесопиления позволяет уменьшить количество отходов, однако полностью избавиться от них невозможно [1, 2]. Поскольку выпуск пиломатериалов неизбежно сопровождается появлением отходов, в современных условиях, характеризующихся возрастанием требований к экономической эффективности и экологической безопасности производства, становится все более актуальной проблема рационального использования отходов лесопиления. На актуальность проблемы указывает также рост числа публикаций по затронутой теме. Известен и продолжает развиваться ряд технологий использования отходов лесопиления [3, 4]. В данной статье рассматриваются вопросы, относящиеся к использованию отходов лесопиления как сорбентов в фильтрах для очистки поверхностных стоков от техногенных загрязнителей на объектах транспортной инфраструктуры. На таких объектах загрязнителями являются преимущественно нефтепродукты и вещества, образующиеся при их использовании в качестве источника энергии транспортных средств.

Для очистки поверхностных стоков от загрязнений нефтепродуктами применяются различные методы: механические, физико-химические, биохимические. В качестве сорбентов используются опилки, торф и другие, в том числе синтетические, материалы. Однако высокая стоимость синтетических сорбентов сдерживает их применение для извлечения загрязняющих веществ из водных сред, поэтому актуальной становится задача поиска альтернативных сорбционных материалов, в качестве которых в ряде работ рассматриваются отходы лесопиления [5–7].

### Цель работы

Цель работы — повышение эффективности использования отходов лесопиления в качестве фильтрующего материала для очистки поверхностных стоков дорог от остатков использованных транспортными средствами горюче-смазочных материалов, которые могут включать в себя ионы тяжелых металлов. Методология исследования базируется на подходах системного анализа, реализованных на общенаучном, конкретно-на-

учном и технологическом уровнях с учетом как известных по литературе данных, так и разработок авторов.

Приведем краткий обзор известных по литературе экспериментальных и теоретических исследований, результаты которых необходимы для достижения декларированной выше цели работы.

Известно [5], что нефтеемкость опилок сосны обыкновенной составляет от 2,3 до 5,33 г/г. Известны способы модификации опилок (например, [8, 9]), которые позволяют улучшить их сорбционные характеристики, что, однако, повышает стоимость получаемого фильтрующего материала. Количество нефтепродуктов, задерживаемых опилками, зависит от продолжительности фильтрования. По экспериментальным данным [10], нефтеемкость опилок при 20 °С через 5 и 60 мин после начала эксперимента составила соответственно 2,52 и 2,58 г/г.

В работе [11] описано экспериментальное исследование поглощения нефтепродуктов с использованием в качестве сорбента воздушно-сухих опилок хвойных пород без их предварительной подготовки; при 20 °С через 5 минут были получены значения нефтеемкости 2,5 г/г, почти совпадающие с приведенными выше [10]: 2,52 г/г. Тем самым подтверждается адекватность результатов опытов. В то же время при сравнении этих данных с нефтеемкостью опилок ясеня [8] (4,14...4,9 г/г) заметно существенное влияние породы древесины в данном исследовании и, возможно, при очистке сточных вод от других поллютантов. Изучению этих возможностей посвящены, например, работы [12–14], в которых представлены способы использования опилок бука и других пород как сорбентов тяжелых металлов.

Сорбция фенола на осиновых опилках исследована в работе [15], в которой экспериментально определено, что максимальная сорбционная емкость нативных осиновых опилок по фенолу составляет 12,9 мг/г; модификация путем обработки опилок 5%-ным раствором серной кислоты увеличивает этот параметр до 43 мг/г. Способы использования опилок для очистки от фенола описаны также в статьях [16–18].

Комплекс других вопросов, относящихся к особенностям использования необработанных и модифицированных опилок как сорбентов для очистки сточных вод от различных загрязнений, рассмотрен в работах [16–19].

Таким образом, базируясь на представленных в литературе данных, можно констатировать, что отходы лесопиления могут быть использованы как достаточно эффективный сорбент для очистки сточных вод от загрязнений. Необходимо, однако, отметить, что существенное значение для повы-

шения эффективности извлечения поллютантов имеют не только способы модификации опилок и порода древесины, но и конструктивные особенности устройств, предназначенных для очистки стоков. В этой связи правомерно предположение, что совершенствование технических решений для очистки стоков позволит в определенной мере компенсировать не всегда достаточную сорбционную способность отходов лесопиления, а также повысить эффективность использования как нативных, так и модифицированных отходов, образующихся на лесопильных предприятиях.

Реализация процесса совершенствования технических решений предполагает необходимость анализа уровня техники, тенденций ее развития и конкурентоспособности, что наиболее эффективно осуществляется при исследовании патентной и другой информации. Рассмотрим в качестве примера анализ и генерацию на его основе нового предложения по совершенствованию устройства для очистки поверхностных стоков дорог с применением отходов лесопиления как фильтрующего материала.

По международной патентной классификации, данное техническое решение относится к устройствам для разделения фильтруемой среды и загрязняющих веществ фильтрующими элементами (МПК В01D 29/11), в том числе с использованием патронных фильтров съемного типа (МПК В01D 27/00). Область применения: безнапорная очистка поверхностных стоков дорог, образующихся при выпадении осадков и таянии снега. Поверхностные стоки дорог обозначены как фильтруемая среда, очистка которой от загрязнений выполняется с применением фильтрующей среды. Загрязнениями являются дисперсные минеральные и органические частицы и вещества, в том числе остатки использованных транспортными средствами горюче-смазочных материалов, ионы тяжелых металлов.

## Материалы и методы

Известен фильтрующий патрон по патенту RU 157102 [20] для очистки сточной воды, представляющий собой цилиндрический корпус с непроницаемой боковой поверхностью и проницаемыми верхним и нижним концами, заполненный поглощающим материалом, который распределен по всему сечению фильтрующего патрона. Однако в данном патроне неэффективно используется поглощающий материал вследствие нерационального распределения в его объеме удерживаемых поглощающим материалом загрязнителей, содержащихся в поступающей на очистку воде, которая в процессе фильтрования под действием силы тяжести перемещается в направлении, параллельном продольной оси вертикально установленного фильтрующего патрона.



Существует фильтрующий патрон для очистки ливневых стоков по патенту RU 138579 [21], включающий фильтрующий материал в корпусе с опорным фланцем — кольцом из полиэтилена низкого давления, причем в корпус фильтрующего патрона встроена сквозная труба, на вершину которой установлен отвод на 180°. Но в данном фильтрующем патроне встроена сквозная труба имеет водонепроницаемую боковую поверхность и используется только для сброса избыточно большого объема поступающей в патрон воды. Кроме того, неэффективно используется фильтрующий материал вследствие нерационального распределения в его объеме удерживаемых фильтрующим материалом загрязнителей, содержащихся в поступающей на очистку воде, которая в процессе фильтрования под действием силы тяжести перемещается в аксиальном направлении, параллельном продольной оси вертикально установленного фильтрующего патрона.

Известен фильтрующий патрон по патенту RU 149627 [22], содержащий корпус и размещенный в корпусе сорбент. В корпусе предусмотрен байпас в виде трубы, через которую стоки, превышающие расчетные, а также стоки при засорении фильтрующего патрона отправляются на сброс по отводной трубе. В качестве байпаса используется корпус фильтра, изготовленный из полый спиральновитой трубы с водонепроницаемыми стенками.

Недостатком данного устройства является неэффективное использование фильтрующего материала по критерию грязеемкости вследствие неравномерного распределения загрязняющих веществ в процессе фильтрования, поскольку фильтруемая вода перемещается в аксиальном направлении, параллельном продольной оси вертикально установленного фильтрующего патрона, и по этой причине увеличение площади сечения, через которое проходит фильтруемая вода, возможно только за счет увеличения диаметра поперечного сечения корпуса фильтрующего патрона. Кроме того, увеличиваются габаритные размеры устройства.

Наиболее близким аналогом предлагаемого устройства для очистки поверхностных стоков дорог, выбранным в качестве прототипа, является устройство для очистки ливневых стоков по патенту US 5707527 [23], содержащее корзину, которая имеет наружную цилиндрическую водонепроницаемую стенку и внутреннюю водонепроницаемую стенку меньшего диаметра. Слой фильтрующего материала, способного поглощать загрязняющие вещества, расположен в пространстве между внешней и внутренней стенками. Внутреннее дренажное пространство определяется внутренней стенкой и сообщается по текучей

среде с фильтрующим материалом. Во время работы фильтруемая вода перемещается через наружную проницаемую стенку в радиальном направлении, в слой фильтрующего материала. Профильтрованная вода течет из слоя через внутреннюю стенку во внутреннее дренажное пространство. Обработанная вода затем вытекает из дренажного пространства. Фильтрующим материалом может быть активированный уголь, торф в форме гранул или более мелких частиц.

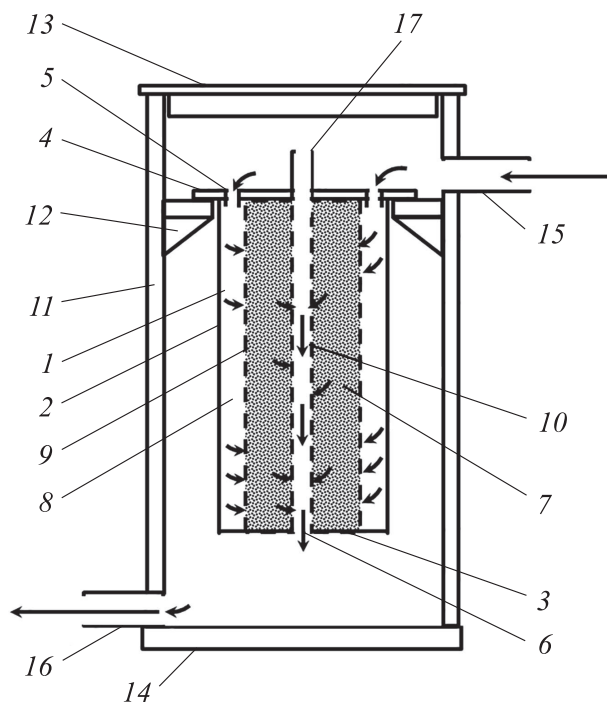
Однако данное устройство является недостаточно эффективным, поскольку наружная боковая поверхность устройства выполнена водонепроницаемой по всей ее площади, что требует подачи воды из резервуара, внешнего по отношению к устройству [23]. Необходимость такого резервуара усложняет конструкцию и эксплуатацию устройства.

## Результаты и обсуждение

Предлагается устройство для очистки поверхностных стоков дорог [24], преимущества которого заключаются в повышении эффективности очистки и фильтрования стоков. Данные преимущества достигаются за счет того, что устройство содержит корзину в форме полого цилиндра с вертикально ориентированной продольной осью и водонепроницаемыми внешней и внутренней стенками, в котором кольцевой зазор между водонепроницаемыми стенками заполнен фильтрующим материалом, способным поглощать загрязняющие вещества сточных вод. При этом внутренняя водонепроницаемая стенка ограничивает дренажное пространство в форме цилиндра, в нижней части которого имеется отверстие для выхода профильтрованных стоков. Устройство снабжено корпусом в форме цилиндрической оболочки с водонепроницаемыми стенками, крышкой и днищем, между водонепроницаемой внешней стенкой корзины и водонепроницаемой стенкой корпуса выполнен кольцевой зазор, который сверху ограничен крышкой, причем в крышке выполнены входные отверстия, расположенные по окружности над кольцевым зазором, а снизу кольцевой зазор ограничен водонепроницаемым днищем. На рисунке приведена схема данного устройства.

Устройство для очистки поверхностных стоков дорог содержит вертикально установленный цилиндрический корпус 1 с водонепроницаемой стенкой 2, днищем 3 и крышкой 4. В крышке 4 выполнены входные отверстия 5 для фильтруемой среды. В днище 3 выполнено выходное отверстие 6 для фильтруемой среды.

Фильтруемая среда под действием силы тяжести от входных отверстий 5 в верхней части фильтра поступает в кольцевой зазор 8 и проходит через водонепроницаемую оболочку 9 в фильтру-



Фильтр для очистки поверхностных стоков дорог  
The filter scheme

ющую среду, размещенную в кольцевом зазоре между водонепроницаемыми оболочками 9 и 10, к выходному отверстию 6. При этом движение фильтруемой среды ориентировано от водонепроницаемой коаксиально расположенной цилиндрической оболочки 9 большего диаметра к водонепроницаемой цилиндрической оболочке 10 меньшего диаметра. Прошедшая через фильтрующую среду 7 профильтрованная среда поступает к выходному отверстию 6, которое расположено в нижней части корпуса фильтра, при этом пространство движения фильтруемой среды ограничено водонепроницаемым цилиндрическим корпусом фильтра с дном 3 и крышкой 4. Фильтр устанавливают в колодце 11, который снабжен кольцевой опорой 12, крышкой 13 и дном 14, входным отверстием 15 и выходным отверстием 16. Для защиты от переполнения воду сбрасывают через постоянно открытый верхний торец трубы 17. С этой целью верхняя часть трубы, выступающая над крышкой 4, выполнена водонепроницаемыми стенками и с водонепроницаемым соединением крышки 4 по периметру трубы. Соединение по периметру нижнего торца трубы с крышкой 4 выполнено водонепроницаемым.

Все детали корпуса и водонепроницаемые оболочки могут быть изготовлены из полиэтилена низкого давления по стандартным технологиям. Фильтрующая среда может состоять, например, из торфа, опилок [25–27], нефтепоглощающего сорбента, активированного угля, нетканых синтетических материалов [28]. Число слоев филь-

трующей среды может быть от одного до трех. Водонепроницаемые стенки оболочек функционируют и как фильтрующие элементы. Колодец и его дно могут быть выполнены из железобетона или полимеров, крышка колодца — из полимеров или металла.

В процессе фильтрации с течением времени происходит накопление загрязнителей в фильтрующей среде, объем которой ограничен цилиндрическими оболочками 9 и 10. Радиус и высота оболочки 9 равны соответственно  $R$  и  $H$ , радиус и высота оболочки 10 —  $r$  и  $R$ . В предлагаемом устройстве фильтрующая среда находится в объеме полого цилиндра с внешним радиусом  $R$ , внутренним радиусом  $r$  и высотой  $H$ . Загрязнения накапливаются в фильтрующей среде постепенно и, как показывают опыты, послойно. По мере пропускания фильтруемой среды через фильтр концентрация загрязнений, удерживаемых фильтрующей средой, послойно уменьшается в радиальном направлении от периметра к центру. Поэтому именно на начальной стадии фильтрации необходим наибольший объем слоя фильтрующего материала. Данное требование выполняется, если фильтруемую среду направляют по радиусу от периметра фильтра к центру. На начальной стадии эксплуатации устройства загрязнения накапливаются в слое толщиной  $\Delta R$ , т. е. загрязняется слой в форме полого цилиндра с внешним радиусом  $R$ , внутренним радиусом  $(R - \Delta R)$  и высотой  $H$ . Это означает, что объем слоя при рассматриваемом радиальном фильтровании  $V_1 = 2\pi R \Delta R H$ . Поскольку объем слоя  $V_1$  зависит от трех параметров — радиуса фильтра  $R$ , его высоты  $H$  и толщины слоя  $\Delta R$ , то на стадии проектирования управлять геометрическими характеристиками фильтра, объемом  $V_1$  и, следовательно, грязеемкостью слоя при постоянной его толщине можно, подбирая  $R$  и  $H$ . Тем самым устраняется недостаток известных фильтров, например, устройства [3], в котором слои фильтрующего материала располагают горизонтально, а фильтруемую среду направляют по вертикали вдоль продольной оси кассет с сорбентом. При такой конструкции повысить производительность фильтрующей установки можно за счет либо увеличения поперечных размеров кассет, либо уменьшения толщины слоев фильтрующего материала, что приведет к снижению качества очистки. Этот недостаток устранен в предлагаемом устройстве, в котором при прочих равных условиях производительность и другие характеристики фильтра могут быть улучшены за счет подбора высоты  $H$  фильтра или рационального соотношения  $R$  и  $H$ .

Если используется устройство [22], которое в отличие от радиального фильтра можно назвать

аксиальным и в котором толщина слоя равна  $\Delta H$ , а объем слоя  $V_0 = \pi R^2 \Delta H$ , то при одной и той же толщине слоя  $\Delta H = \Delta R$  соотношение объемов слоев, а значит, и соотношение значений их грязеемкости будет равно  $V_1/V_0 = (2\pi R \Delta R H) / (\pi R^2 \Delta H) = 2H/R$ . Данное соотношение показывает, что фильтрование в предлагаемом устройстве будет более эффективным при  $V_1 > V_0$ , т. е. если  $2H > R$  или  $H > 0,25D$ , где  $D$  — диаметр фильтра;  $H$  — высота фильтра.

Таким образом, в предлагаемом устройстве с увеличением высоты фильтра его эффективность по критерию грязеемкости возрастает. Рациональной является форма фильтра в виде цилиндра с высотой, равной диаметру. С учетом ограничений, определяемых рельефом местности, архитектурно-конструктивными особенностями и другими факторами, возможна высота фильтра  $H > D$ , что повысит его производительность.

## Выводы

Результаты исследований по использованию отходов лесопиления как сорбента вносят вклад в решение двух задач — рационального использования этих отходов и повышения эффективности очистки поверхностных стоков на объектах дорожной инфраструктуры.

Предложено техническое решение радиального фильтра поверхностных стоков дорог, которое позволяет повысить эффективность очистки и фильтрования загрязненной воды. Новизна данного решения подтверждена результатами патентного поиска [24].

Анализ литературы показал, что комплексная проблема использования отходов лесопиления как сорбента актуальна для предприятий лесопромышленного комплекса [2, 30]. Это объясняется увеличением выбросов загрязняющих веществ, образующихся при использовании нефтепродуктов в качестве источника энергии всё более мощных лесных машин и автомобильного транспорта [31, 32], а также необходимостью уменьшения техногенного воздействия на окружающую среду. Перспективы работы определяются необходимостью развития транспортной инфраструктуры лесопромышленного комплекса, повышения эффективности использования отходов переработки древесины с учетом требований экономической целесообразности и экологической безопасности [31].

## Список литературы

- [1] Падерин В. Рентабельность лесопиления и проблемы развития лесопиления в России // ЛесПромИнформ, 2014. № 1 (99). URL: [www.lesprominform.ru/jarchive/articles/itemshow/3572](http://www.lesprominform.ru/jarchive/articles/itemshow/3572) (дата обращения 05.12.2017).
- [2] Сердитова Н.Е., Осетрова М.Л. Эколого-экономический анализ устойчивого лесопользования и развития предприятий целлюлозно-бумажной промышленности // Вестник Тверского гос. ун-та. Сер. География и геоэкология, 2016. № 1. С. 12–17.
- [3] Андреев А.А., Зайцева М.И., Колесников Г.Н., Чалкин А.А. Технологии использования отходов лесопиления для устойчивого развития приграничных регионов на севере России // Классический университет в пространстве трансграничности на Севере Европы: стратегия инновационного развития: Сб. матер. Междунар. форума. Петрозаводск, Петрозаводский гос. ун-т, 9–13 декабря 2014 г. Петрозаводск: ПетрГУ, 2014. С. 3–6.
- [4] Сафин Р.Г., Саттарова З.Г., Хабибуллин И.Г., Зиятдинов Р.Р., Степанова Т.О. Современные направления переработки лесных ресурсов // Вестник Казанского технологического ун-та, 2015. Т. 18. № 21. С. 90–93.
- [5] Шайхiev И.Г., Шайхиева К.И. Использование компонентов хвойных деревьев для удаления поллютантов из водных сред. Ч. 1: Сосновые // Вестник Казанского технологического ун-та, 2016. Т. 19. № 4. С. 127–141.
- [6] Шайхiev И.Г., Шайхиева К.И. Использование компонентов хвойных деревьев для удаления поллютантов из водных сред. Ч. 2: Еловые // Вестник Казанского технологического ун-та, 2016. Т. 19. № 5. С. 161–165.
- [7] Dakhil I.H. Removal of phenol from industrial wastewater using sawdust // Int. J. Engineering and Science, 2013, v. 3, no. 1, pp. 25–31.
- [8] Денисова Т.Р., Шайхiev И.Г., Сиппель И.Я. Увеличение нефтеемкости опилок ясеня обработкой растворами кислот // Вестник Казанского технологического ун-та, 2015. Т. 18. № 17. С. 233–236.
- [9] Дейнеко И.П., Симонова А.Н. Сорбционные свойства катионитов, полученных обработкой еловых опилок растворами серной кислоты // Химия растительного сырья, 2015. № 3. С. 35–42.
- [10] Цомбуева Б.В. Применение природных материалов в качестве сорбентов для очистки почв от нефтяного загрязнения // Современные проблемы науки и образования, 2014. № 6. С. 1800.
- [11] Евстигнеев В.Д. Технология подготовки, использования и утилизации отходов лесопиления как сорбента в технических средствах обеспечения экологической безопасности // StudArctic forum, 2016. № 1 (1). С. 14–17. DOI: 10.15393/j102.art.2016.102
- [12] Witek-Krowiak A. Application of beech sawdust for removal of heavy metals from water: biosorption and desorption studies // European J. Wood and Wood Products, 2013, V. 71, no. 2, pp. 227–236. DOI: 10.1007/s00107-013-0673-8
- [13] Putra W.P., Kamari A., Yusoff S.N.M., Ishak C.F., Mohamed A., Hashim N., Isa I.M. Biosorption of Cu (II), Pb (II) and Zn (II) ions from aqueous solutions using selected waste materials: Adsorption and characterisation studies // J. Encapsulation and Adsorption Sciences, 2014, v. 4, no. 1, pp. 25–35.
- [14] Singh R., Kaur R., Lal K., Rosin K. G., Srivastava M., Shukla A. Optimization of Chromium (VI) and Copper (II) Adsorption on Chemically Treated Sawdust Using Response Surface Methodology // Asian J. Chemistry, 2017, v. 29, no. 4, p. 728.
- [15] Галимова Р.З., Шайхiev И.Г., Алмазова Г.А. Изучение термодинамики сорбции фенола на осиновых опилках // Вестник Казанского технологического ун-та, 2016. Т. 19. № 1. С. 60–63.
- [16] Ingole R.S., Lataye D.H. Adsorptive removal of phenol from aqueous solution using activated carbon prepared from babul sawdust // J. Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste, 2015, v. 19, no. 4, pp. 04015002. DOI: 10.1061/(ASCE)HZ.2153-5515.0000271
- [17] Sahu O., Rao D. G., Gabbiye N., Engidayehu A., Teshale F. Sorption of phenol from synthetic aqueous solution by activated saw dust: Optimizing parameters with response

- surface methodology // *Biochemistry and Biophysics Reports*, 2017, v. 12, pp. 46–53.  
URL: <https://doi.org/10.1016/j.bbrep.2017.08.007>
- [18] Larous S., Meniai A.-H. The use of sawdust as by product adsorbent of organic pollutant from wastewater: adsorption of phenol // *Energy Procedia*, 2012, no. 18, pp. 905–914.
- [19] Сироткина Е.Е., Новоселова Л.Ю. Материалы для адсорбционной очистки воды от нефти и нефтепродуктов // *Химия в интересах устойчивого развития*, 2005. Т. 13. № 3. С. 359–377.
- [20] Фильтрующий патрон. Пат. RU 157102. МПК В01D 27/02. Оpubл. 20.11.2015, бюл. № 32.
- [21] Фильтрующий патрон для очистки ливневых стоков. Пат. RU 138579. МПК В01D 27/02; С02F 1/00; Е03F 5/14. Оpubл. 20.03.2014, бюл. № 8.
- [22] Фильтрующий патрон. Пат. RU 149627. МПК В01D27/02, С02F1/28. Оpubл. 10.01.2015. бюл. № 1.
- [23] Apparatus and method for treating storm water runoff. Pat. US 5707527. МПК В01D29/15, С02F1/28, Е03F5/16, Е03F5/14, С02F1/42, F16K31/20; В01D25/02. Оpubл. 13.01.1998.
- [24] Гаврилов Т.А., Колесников Г.Н., Евстигнеев В.Д. Устройство для очистки поверхностных стоков дорог. Заявка на полезную модель № 2017133321 от 25.09.2017. RU (51) МПК С02F1/28, Е03F5/14, В01D27/00, В01D29/11.
- [25] Зайцев В.И., Карпиков А.В. Средства борьбы с нефтяными загрязнениями на шельфе северных морей // *Вестник Иркутского гос. техн. ун-та*, 2015. № 6 (101). С. 48–52.
- [26] Фогель А.А., Сомин В.А., Комарова Л.Ф., Шимонова Д.Г. Применение сорбента на основе отходов деревообрабатывающих производств для очистки гальванических стоков // *Ползуновский вестник*, 2010. № 3. С. 290–293.
- [27] Itankar N., Patil Y. Management of hexavalent chromium from industrial waste using low-cost waste biomass // *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 2014, v. 133, pp. 219–224.
- [28] Raghuvanshi S.P., Singh R., Kaushik C.P., Raghav A.K. Removal of textile basic dye from aqueous solutions using sawdust as bioadsorbent // *Int. J. Environmental Studies*, 2005, v. 62, no. 3, pp. 329–339.  
URL: <http://doi.org/10.1080/0020723042000275150>
- [29] Aljeboree A.M., Radi N., Ahmed Z., Alkaim A.F. The use of sawdust as by product adsorbent of organic pollutant from wastewater: adsorption of maxilon blue dye // *Int. J. Chemical Sciences*, 2014, V. 12, no. 4, pp. 1239–1252.
- [30] Ксавье Д. «Экологический менеджмент» лесов и изделий из древесины // *Лесной вестник / Forestry Bulletin*, 2017. Т. 21. № 4. С. 6–9.
- [31] Щетнева Я.А. Влияние на окружающую среду разливов горюче-смазочных материалов при лесозаготовительных работах // *StudArctic Forum*, 2016. № 1 (1). С. 28–33. DOI: 10.15393/j102.art.2016.121
- [32] Запруднов В.И., Пинягина Н.Б., Горшенина Н.С. Современное состояние лесного сектора Российской Федерации, задачи и перспективы развития лесозаготовительной промышленности // *Вестник МГУЛ — Лесной вестник*, 2014. Т. 18. № 3 (103). С. 81–102.

## Сведения об авторах

**Гаврилов Тиммо Александрович** — канд. техн. наук, доцент кафедры общетехнических дисциплин Института лесных, горных и строительных наук Петрозаводского государственного университета (ФГБОУ ВО «ПетрГУ»), [gavrilov@petsru.ru](mailto:gavrilov@petsru.ru)

**Евстигнеев Владимир Дмитриевич** — аспирант Института лесных, горных и строительных наук, Петрозаводского государственного университета (ФГБОУ ВО «ПетрГУ») [gavrilov@petsru.ru](mailto:gavrilov@petsru.ru)

**Зайцева Мария Игоревна** — канд. техн. наук, доцент кафедры технологии и организации строительства Института лесных, горных и строительных наук Петрозаводского государственного университета (ФГБОУ ВО «ПетрГУ»), [2003bk@bk.ru](mailto:2003bk@bk.ru)

**Колесников Геннадий Николаевич** — д-р техн. наук, профессор кафедры общетехнических дисциплин Института лесных, горных и строительных наук Петрозаводского государственного университета (ФГБОУ ВО «ПетрГУ»), [kgn@petsru.ru](mailto:kgn@petsru.ru)

**Никонова Юлия Васильевна** — канд. техн. наук, начальник Информационно-технологического центра Института лесных, горных и строительных наук Петрозаводского государственного университета (ФГБОУ ВО «ПетрГУ»), [juli4455@mail.ru](mailto:juli4455@mail.ru)

Поступила в редакцию 24.01.2018.

Принята к публикации 28.02.2018.



## THE USE OF WOOD SAWDUST FOR TREATMENT OF SURFACE RUNOFF ON THE TRANSPORT INFRASTRUCTURE

T.A. Gavrilov, V.D. Evstigneev, M.I. Zaytseva, G.N. Kolesnikov, Yu.V. Nikonova

Petrozavodsk State University, 33, Lenina pr., 185910, Petrozavodsk, Republic of Karelia, Russia

[gavrilov@petsu.ru](mailto:gavrilov@petsu.ru)

The improvement of sawmilling technologies allows reducing the amount of waste, but it is impossible to completely get rid of them. From 11 to 19 % of the volume of round wood is turned into sawdust depending on the method of sawing. The problem of rational use of lumber waste becomes increasingly important, because in modern conditions the demands on economic efficiency and ecological safety of production are increasing. Sawdust is used as a fuel, including use as a feedstock for production of fuel briquettes and pellets, as well as in the production of building materials in the hydrolysis industry. However, up to 40 % of sawdust is left abandoned, creating a risk of fires and being exposed to atmospheric air, moisture, bacteria, fungi, insects, etc., being dangerous from an environmental point of view. Therefore, it is necessary to expand the range of waste lumber. The purpose of this work is improving the use of lumber waste as sorbents in cylindrical filters of surface runoff on the transport infrastructure. The methodology is based on the approaches of system analysis, implemented on General scientific, and specifically scientific and technological levels, taking into account as known from the literature data, and development authors. A quick overview of the experimental and theoretical research literature, the results of which are necessary to achieve the purpose of the work, is given. Results are the feasibility of using waste lumber in devices for cleaning and filtering runoff roads. The proposed technical solution of the radial filter runoff of the roads, which allows increase the efficiency of cleaning the contaminated water. The novelty of technical solutions is confirmed by the results of a patent search. The article is in the form of overview.

**Keywords:** sawmill waste, sawdust as a sorbent, wastewater treatment

**Suggested citation:** Gavrilov T.A., Evstigneev V.D., Zaytseva M.I., Kolesnikov G.N., Nikonova Yu.V. *Primenenie otkhodov lesopileniya dlya ochistki poverkhnostnykh stokov na ob'ektakh transportnoy infrastruktury* [The use of wood sawdust for treatment of surface runoff on the transport infrastructure]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 2, pp. 87–94. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-2-87-94

### References

- [1] Paderin V. *Rentabel'nost' lesopileniya i problemy razvitiya lesopileniya v Rossii* [The profitability of the sawmill and the sawmill in Russia]. *LesPromInform*, 2014, no. 1(99). Available at: [www.lesprominform.ru/jarchive/articles/itemshow/3572](http://www.lesprominform.ru/jarchive/articles/itemshow/3572) (accessed 05.12.2017).
- [2] Serditova N.E., Osetrova M.L. *Ekologo-ekonomicheskiy analiz ustoychivogo lesopol'zovaniya i razvitiya predpriyatiy tsellyulozno-bumazhnoy promyshlennosti* [Eco-economic analysis of sustainable forest management and pulp and paper industry enterprise development]. [Herald of Tver State University. Ser. Geography and Geoecology], 2016, no. 1, pp. 12–17.
- [3] Andreev A.A., Zaytseva M.I., Kolesnikov G.N., Chalkin A.A. *Tekhnologii ispol'zovaniya otkhodov lesopileniya dlya ustoychivogo razvitiya prigranichnykh regionov na severe Rossii* [Technology of using lumber waste for the sustainable development of border regions in the North of Russia]. In the book: [Classical university in the space of a transborder nature in Northern Europe: The strategy of innovative development proceedings of the International forum]. Petrozavodsk State University, 2014, pp. 3–6.
- [4] Safin R.G., Sattarova Z.G., Khabibullin I.G., Ziatdinov R.R., Stepanova T.O. *Sovremennyye napravleniya pererabotki lesnykh resursov* [Modern trends processing of forest resources]. [Herald of Kazan Technological University], 2015, v. 18, no. 21, pp. 90–93.
- [5] Shaykhiev I.G., Shaykhieva K.I. *Ispol'zovanie komponentov khvoynykh derev'ev dlya udaleniya pollyutantov iz vodnykh sred. Ch. 1: Sosnovye* [The use of components of coniferous trees to remove pollutants from aqueous media. P. 1: Pine]. [Herald of Kazan Technological University], 2016, v. 19, no. 4, pp. 127–141.
- [6] Shaykhiev I.G., Shaykhieva K.I. *Ispol'zovanie komponentov khvoynykh derev'ev dlya udaleniya pollyutantov iz vodnykh sred. Ch. 2: Elovyye* [The use of components of coniferous trees to remove pollutants from aqueous media. P. 2: Spruce]. [Herald of Kazan Technological University], 2016, v. 19, no. 5, pp. 161–165.
- [7] Dakhil I. H. *Removal of phenol from industrial wastewater using sawdust* [Removal of phenol from industrial wastewater using sawdust]. *Int. J. Engineering and Science*, 2013, v. 3, no.1, pp 25–31.
- [8] Denisova T.R., Shaykhiev I.G., Sippel' I.Ya. *Uvelichenie nefteemkosti opilok yaseny obrabotkoy rastvorami kislot* [Increase the oil capacity of sawdust ash treatment by the acid solutions]. [Herald of Kazan Technological University], 2015, v. 18, no. 17, pp. 233–236.
- [9] Deyneko I.P., Simonova A.N. *Sorbtsionnyye svoystva kationitov, poluchennykh obrabotkoy elovykh opilok rastvorami sernoy kisloty* [Sorption properties of cationites obtained by treatment of spruce sawdust with sulphuric acid solutions]. *Chemistry of Vegetable Raw Materials*, 2015, no. 3, pp. 35–42.
- [10] Tsombueva B.V. *Primenenie prirodnykh materialov v kachestve sorbentov dlya ochistki pochv ot neftyanogo zagryazneniya* [The use of natural materials as sorbents for clean up of soils from oil pollution]. *Modern Problems of Science and Education*, 2014, no. 6, p. 1800.
- [11] Evstigneev V.D. *Tekhnologiya podgotovki, ispol'zovaniya i utilizatsii otkhodov lesopileniya kak sorbenta v tekhnicheskikh sredstvakh obespecheniya ekologicheskoy bezopasnosti* [Technology training, use, and disposal of waste lumber as the sorbent in the technical means of ecological safety]. *StudArctic forum*, 2016, no. 1 (1), pp. 14–17. DOI: 10.15393/j102.art.2016.102

- [12] Witek-Krowiak A. Application of beech sawdust for removal of heavy metals from water: biosorption and desorption studies. *European J. Wood and Wood Products*, 2013, v. 71, no. 2, pp. 227–236. DOI: 10.1007/s00107-013-0673-8
- [13] Putra W.P., Kamari A., Yusoff S.N.M., Ishak C.F., Mohamed A., Hashim N., Isa I.M. Solutions using selected waste materials: Adsorption and characterisation studies. *J. Encapsulation and Adsorption Sciences*, 2014, v. 4, no. 1, pp. 25–35.
- [14] Singh R., Kaur R., Lal K., Rosin K.G., Srivastava M., Shukla A. Optimization of Chromium (VI) and Copper (II) Adsorption on Chemically Treated Sawdust Using Response Surface Methodology. *Asian J. Chemistry*, 2017, v. 29, no. 4, pp. 728–734.
- [15] Galimova R.Z., Shaykhiev I.G., Almazova G.A. *Izuchenie termodinamiki sorbsii fenola na osinovykh opilkakh* [Study of thermodynamics of adsorption of phenol on sawdust of aspen]. [Herald of Kazan Technological University], 2016, v. 19, no. 1, pp. 60–63.
- [16] Ingole R.S., Lataye D.H. Adsorptive removal of phenol from aqueous solution using activated carbon prepared from babul sawdust. *J. Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste*, 2015, v. 19, no. 4. DOI: 10.1061/(ASCE)HZ.2153-5515.0000271
- [17] Sahu O., Rao D.G., Gabbiye N., Engidayehu A., Teshale F. Sorption of phenol from synthetic aqueous solution by activated saw dust: Optimizing parameters with response surface methodology. *Biochemistry and Biophysics Reports*, 2017, v. 12, pp. 46–53. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.bbrep.2017.08.007> (accessed 05.12.2017).
- [18] Larous S., Meniai A.-H. The use of sawdust as by product adsorbent of organic pollutant from wastewater: adsorption of phenol. *Energy Procedia*, 2012, v. 18, pp. 905–914.
- [19] Sirotkina E.E., Novoselova L.Yu. *Materialy dlya adsorbtsionnoy ochistki vody ot nefi i nefteproduktov* [Materials for adsorption purification of water from oil and oil products]. [Chemistry for Sustainable Development], 2005, v. 13, no. 3, pp. 359–377.
- [20] *Fil' tryushchiy patron* [Filter cartridge]. Patent RU 157102. MPK B01D 27/02. Published: 20.11.2015, bul. no. 32.
- [21] *Fil' tryushchiy patron dlya ochistki livnevyykh stokov* [The filter cartridge for cleaning stormwater runoff]. Patent RU 138579. MPK B01D 27/02; C02F 1/00; E03F 5/14. Published: 20.03.2014, bul. no. 8.
- [22] *Fil' tryushchiy patron* [Filter cartridge]. Patent RU 149627. MPK B01D27/02, C02F1/28. Published: 10.01.2015, bul. no. 1.
- [23] Apparatus and method for treating storm water runoff. Patent US 5707527. MPK B01D29/15, C02F1/28, E03F5/16, E03F5/14, C02F1/42, F16K31/20; B01D25/02. Published: 13.01.1998.
- [24] Gavrilo T.A., Kolesnikov G.N., Evstigneev V.D. *Ustroystvo dlya ochistki poverkhnostnykh stokov dorog* [A device for treatment of surface runoff of roads]. An application for a utility model, no. 2017133321 from 25.09.2017. RU (51) MPK C02F1/28, E03F5/14, B01D27/00, B01D29/11.
- [25] Zaytsev V.I., Karpikov A.V. *Sredstva bor'by s nefyanyimi zagryazneniyami na shel'fe severnykh morey* [Means of combating oil pollution at offshore Northern seas]. [Herald of Irkutsk State Technical University], 2015, no. 6 (101), pp. 48–52.
- [26] Fogel' A.A., Somin V.A., Komarova L.F., Shimonaeva D.G. *Primenenie sorbenta na osnove otkhodov derevoobrabatyvayushchikh proizvodstv dlya ochistki gal'vanicheskikh stokov* [Application of the sorbent on the basis of wood waste industries for purification of electroplating effluents]. *Polzunovskiy Vestnik*, 2010, no. 3, pp. 290–293.
- [27] Itankar N., Patil Y. Management of hexavalent chromium from industrial waste using low-cost waste biomass. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 2014, v. 133, pp. 219–224.
- [28] Raghuvanshi S.P., Singh R., Kaushik C.P., Raghav A.K. Removal of textile basic dye from aqueous solutions using sawdust as bioadsorbent. *Int. J. Environmental Studies*, 2005, v. 62, no. 3, pp. 329–339. Available at: <http://doi.org/10.1080/0020723042000275150> (accessed 05.12.2017).
- [29] Aljeboree A.M., Radi N., Ahmed Z., Alkaim A.F. The use of sawdust as by product adsorbent of organic pollutant from wastewater: adsorption of maxilon blue dye. *Int. J. Chemical Sciences*, 2014, v. 12, no. 4, pp. 1239–1252.
- [30] Ksav'e D. «*Ekologicheskiy menedzhment*» lesov i izdeliy iz drevesiny [«Environmental management» of forests and wood products]. *Lesnoy vestnik / Forestry bulletin*, 2017, v. 21, no. 4, pp. 6–9.
- [31] Shchetneva Ya.A. *Vliyanie na okruzhayushchuyu sredu razlivov goryuche-smazochnykh materialov pri lesozagotovitel'nykh rabotakh* [The environmental impact of spills of fuel and lubricants during logging operations]. *StudArctic Forum*, 2016, no. 1 (1), pp. 28–33. DOI: 10.15393/j102.art.2016.121.
- [32] Zaprudnov V.I., Pinyagina N.B., Gorshenina N.S. *Sovremennoe sostoyanie lesnogo sektora Rossiyskoy Federatsii, zadachi i perspektivy razvitiya lesozagotovitel'noy promyshlennosti* [Current state of the Russian Federation forest sector, tasks and prospects of forest industry development]. *Moscow State Forest University Bulletin — Lesnoy vestnik*, 2014, no. 3, pp. 81–102.

## Authors' information

**Gavrilo Timmo Alexandrovich** — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Department of Technical Disciplines at the Institute of Forest, Mining and Building Sciences of Petrozavodsk State University, [gavrilo@petsu.ru](mailto:gavrilo@petsu.ru)

**Evstigneev Vladimir Dmitrievich** — pg. at the Institute of Forest, Mountain and Building Sciences, of Petrozavodsk State University, [fireworks812@gmail.com](mailto:fireworks812@gmail.com)

**Zaytseva Mariya Igorevna** — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Department of Technology and Organization of Construction at the Institute of Forest, Mining and Building Sciences of Petrozavodsk State University, [2003bk@bk.ru](mailto:2003bk@bk.ru)

**Kolesnikov Gennadiy Nikolaevich** — Dr. Sci. (Tech.), Professor of Department of Technical Disciplines, at the Institute of Forest, Mining and Building Sciences, Petrozavodsk State University, [kgn@petsu.ru](mailto:kgn@petsu.ru)

**Nikonova Yuliya Vasil'evna** — Cand. Sci. (Tech.), Head of Information Technology Center at the Institute of Forest, Mining and Building Sciences of Petrozavodsk State University, [juli4455@mail.ru](mailto:juli4455@mail.ru)

Received 24.01.2018.

Accepted for publication 28.02.2018.

## МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ НАСЫПНОЙ СТРУКТУРЫ ПАКЕТА КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА ИЗ ИЗМЕЛЬЧЕННЫХ ДРЕВЕСНЫХ ЧАСТИЦ

Д.В. Тулузаков, Б.Л. Спирин

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

Определены структурно-механические характеристики пакета композиционного материала из измельченных древесных частиц и параметры режима прессования для получения плит с оптимальными прочностью, жесткостью и стоимостью. Разработана модель формирования насыпной структуры пакета композиционного материала из измельченных древесных частиц. Важной структурной характеристикой плит является распределение плотности по толщине, от которого зависят конечные физические и механические показатели готовых изделий. Определяющие факторы распределения плотности и соответственно, пористости) композита: структура дисперсной фазы, массовая доля связующего и его свойства, компрессионные характеристики дисперсной фазы, включая или не включая какую-либо фракцию в структуре пакета, можно сформулировать математическую модель в терминах моделей целочисленного математического программирования. Вначале проводится квантование (дискретизация): композита по толщине изделия; усилия, развиваемого прессом; фракционного состава частиц и породы древесины, из которой изготовлена стружка. По результатам квантования усилий составляют компрессионную матрицу  $|p_{jmk}|$ , элементом которой является значение плотности  $j$ -й фракции  $m$ -й породы, сжатой усилием  $k$ -й величины. Усилие, развиваемое прессом, не может превышать его конструктивные возможности и, поэтому вводится матрица допустимых усилий в синтезируемой технологии с элементами  $a_{ijmk}$ . В результате решения приведенных в работе систем уравнений определяют назначение в каждый  $i$ -й слой пакета конкретной фракции, принадлежащей конкретной породе и испытывающей сжатие конкретным усилием со стороны плит пресса. По найденному вектору и известной компрессионной матрице можно определить плотность материала в любой его точке (слое). Далее, пользуясь формулой определения пористости, можно определить пористость пакета, а по ней — насыпную пористость, и насыпную плотность всего пакета. С помощью математических моделей можно обосновывать требования к новым композиционным материалам, а также существенно улучшить структуру уже известных композитов.

**Ключевые слова:** моделирование, композиционные материалы, прочность, жесткость, плотность, давление

**Ссылка для цитирования:** Тулузаков Д.В., Спирин Б.Л. Модель формирования насыпной структуры пакета композиционного материала из измельченных древесных частиц // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 2. С. 95–103. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-2-95-103

**Ф**изико-механические свойства древесных композитов, в частности древесно-стружечных плит, можно дифференцировать в соответствии с областями применения данных материалов в той или иной конструкции [1–3]. Одной из основных структурных характеристик плит является распределение плотности по толщине (часто называемое профилем плотности), от которого зависят конечные физические и механические свойства готовых изделий [4–7].

### Цель работы

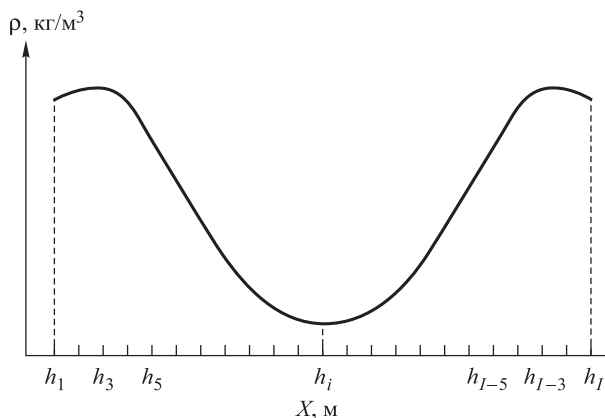
Цель проводимых исследований — определение структурно-механических характеристик пакета композиционного материала из измельченных древесных частиц и параметров режима прессования для получения плит с оптимальными либо заданными значениями характеристик по прочности, жесткости, стоимости изделия.

### Материалы и методы исследования

Определяющими факторами распределения плотности (и, соответственно, пористости)

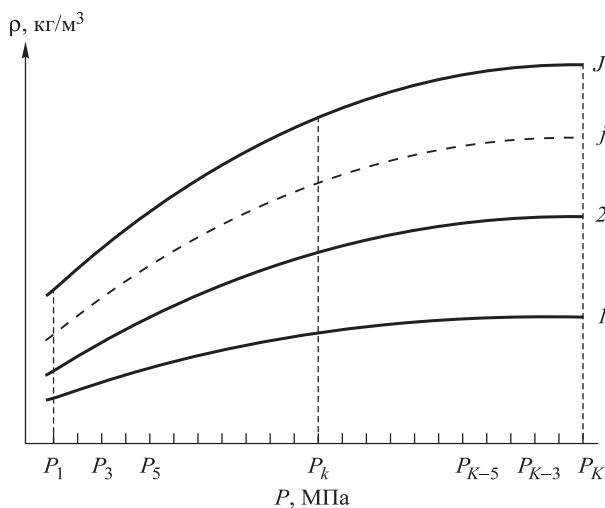
композита являются: структура дисперсной фазы (для древесно-стружечных плит это — порода древесины, вид и фракция стружки, масса стружки в конкретном слое), массовая доля связующего и его свойства, компрессионные характеристики дисперсной фазы (стружек) [8, 9].

На стадии моделирования формирования насыпного пакета одним из основных факторов, влияющих на профиль плотности композита, можно принять массовую долю определенной фракции древесных частиц в конкретном слое материала. Включая или не включая какую-либо фракцию в структуру пакета, можно формулировать математические модели этой стадии технологического процесса прессования в терминах задач назначения в некоторый слой композита той или иной фракции, т. е. в терминах моделей целочисленного математического программирования. Данные модели позволяют формировать послойную структуру композита и определять значение максимального усилия прессования — важный параметр диаграммы прессования.



**Рис. 1.** Распределение плотности пакета по толщине: ρ — плотность, X — толщина (координата слоя)

**Fig. 1.** The distribution of the packet density along the thickness: ρ — the density, X — the thickness (the coordinate of the layer)



**Рис. 2.** Компрессионные характеристики фракций: ρ — плотность; P — усилие прессования, развиваемое прессом; 1, 2, j, J — фракции m-й породы

**Fig. 2.** Compression characteristics of fractions: ρ — density; P — pressing force developed by the press; 1, 2, j, J — fractions of the m species

При построении модели будем исходить из того факта, что синтезируемый композиционный материал должен иметь заданную (заранее рассчитанную) плотность по толщине (например, приведенную на рис. 1).

Можно сформулировать показатели эффективности моделирования, целевая направленность которых будет приводить к назначению в соответствующие внутренние слои пакета дисперсных частиц с определенной плотностью и размерами в переменных, принимающих значения «0» либо «1».

Математическая модель должна учитывать следующие данные:

- фракционный и породный состав дисперсных частиц;

- заданную зависимость плотности изделия от его толщины (см. рис. 1);

- известные компрессионные характеристики фракций (зависимость плотности фракций от давления прессования) (рис. 2).

Проведем квантование (дискретизацию) композита по толщине изделия с шагом  $h$  и обозначим индексом  $i$  номер слоя пакета. Величина шага квантования  $h$  выбирается исходя из необходимой точности результатов моделирования (см. рис. 1). Аналогичное квантование проведем и по координате  $P$  (усилие, развиваемое прессом) и индексом  $k$  обозначим уровень усилия (см. рис. 2). Введем индекс  $j$  для обозначения компонента фракции, а породный состав фракций пронумеруем с помощью индекса  $m$ . Толщина изделия будет разбита на  $I$  слоев, а шкала усилий, развиваемых прессом, — на  $K$  слоев. Символом  $J$  обозначим общее число фракций, а символом  $M$  — общее число пород, из которых изготовлены стружки (фракции).

По результатам квантования усилий (см. рис. 2) составим компрессионную трехмерную матрицу  $(\rho_{jmk})$ ,  $j \in \{1, \dots, J\}$ ,  $m \in \{1, \dots, M\}$ ,  $k \in \{1, \dots, K\}$ , в которой  $J$  строк,  $M$  столбцов и  $K$  слоев и элементом которой является значение плотности  $j$ -й фракции  $m$ -й породы, сжатой усилием  $k$ -й величины.

Проведенное квантование позволяет ввести двоичную переменную, т. е. переменную, значением которой может быть либо ноль, либо единица [10–12]:

$Z_{ijmk} = 1$ , если в  $i$ -й слой назначена  $j$ -я компонента фракции  $m$ -й породы, сжатая усилием  $k$ ;

$Z_{ijmk} = 0$ , если такого назначения нет.

Поскольку одним из основных параметров технологического процесса является усилие, развиваемое прессом, которое также подлежит определению на этапе моделирования, введем еще одну переменную:

$$q_k = \begin{cases} 1, & \text{если в оптимальном решении значение} \\ & \text{усилия пресса равно } P_k; \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Введенная система обозначений и переменных позволяют корректно описать процесс формирования структуры пакета композиционных материалов в виде систем линейных уравнений и линейных неравенств [10].

С учетом введенных обозначений условие обязательного назначения в каждый  $i$ -й слой только одной фракции  $m$ -й породы, сжатой  $k$ -м усилием, можно записать в виде системы, состоящей из  $I$  уравнений (где  $I$  — число слоев, на которое разбита плита по толщине):



$$\sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^K Z_{ijmk} = 1$$

для любого слоя  $i, i \in \{1, \dots, I\}$ . (1)

Усилие, развиваемое прессом, не может превышать его конструктивные возможности. Эти соображения можно учесть, если ввести матрицу допустимых усилий в технологии прессования с элементами  $a_{ijmk}$ , где

$$a_{ijmk} = \begin{cases} 1, & \text{если в } i\text{-й слой допустимо конструкцией} \\ & \text{пресса назначение } j\text{-й компоненты} \\ & \text{фракции } m\text{-й породы, сжатой с усилием} \\ & \text{уровня } k; \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

С помощью этой же матрицы можно разрешить или запретить назначение в  $i$ -й слой композита того или иного компонента фракции  $m$ -й породы. В этом случае система уравнений (1) будет выглядеть так:

$$\sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^K a_{ijmk} Z_{ijmk} = 1$$

для каждого слоя  $i, i \in \{1, \dots, I\}$ . (2)

При этом  $q_k \leq \sigma_\tau$  ( $\sigma_\tau$  – усилие развиваемое прессом) для любого  $k \in \{1, \dots, K\}$ , т. е. ни одно из значений кванта усилия не может превышать усилие, развиваемое прессом данной конструкции.

Физический смысл системы уравнений (2) состоит в том, что в конкретный  $i$ -й слой пакета из всего множества пород  $\{1, \dots, M\}$  и множества компонентов фракции  $\{1, \dots, J\}$  будет назначен только один конкретный компонент конкретной породы, сжатый конкретным усилием.

Таким образом, с помощью матрицы допустимых усилий разрешается или запрещается назначение в  $i$ -й слой композита той или иной фракции, а также обеспечивается назначение в допустимое решение усилия пресса с уровнем, равным  $P_k$ .

При формулировании постановки задачи были введены две группы переменных, а именно  $\{Z_{ijmk}\}$ , которая отражает факт назначения в  $i$ -й слой  $j$ -й фракции  $m$ -й породы, сжатой  $k$ -м усилием, и  $\{q_k\}$ , с помощью которой фиксируется уровень усилия пресса. Однако в корректной модели обе группы переменных обязательно должны быть связаны одной системой равенств или неравенств. Во всех рассматриваемых далее моделях эта связь может быть следующей:

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M a_{ijmk} Z_{ijmk} \leq q_k,$$

для каждого усилия  $k, k \in \{1, \dots, K\}$ , (3)

где  $a_{ijmk}$  — элемент матрицы, допускающий назначение в  $i$ -й слой  $j$ -го компонента фракции  $m$ -й породы, сжатого с усилием уровня  $k$ .

Выражение (3) будет необходимо обеспечивать назначение в допустимое решение усилия пресса с уровнем, равным  $P_k$ . Физический смысл системы неравенств (3) состоит в том, что если в конкретный  $i$ -й слой пакета из всего множества пород  $\{1, \dots, M\}$  и множества компонентов фракции  $\{1, \dots, J\}$  назначен только один конкретный компонент конкретной породы, то обязательно должен быть выбран конкретный уровень усилия  $k$ .

В результате решения систем уравнений (1)–(3) находят переменные  $\{Z_{ijmk}\}$ , значения которых для каждого  $i$ -го слоя пакета диктуют выбор конкретного компонента фракции, принадлежащей конкретной породе и испытывающей сжатие  $\sigma_\tau$  определенным усилием со стороны плит пресса. По найденному вектору  $\{Z_{ijmk}\}$  и известной компрессионной матрице  $|\rho_{jmk}|$  можно определить плотность материала в любой его точке (слое) по выражению

$$\rho_i = \sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^K \rho_{jmk} Z_{ijmk},$$
 (4)

где точка  $i$  принадлежит одному конкретному элементу ( $i \in \{1, \dots, I\}$ ).

С помощью формулы

$$\Pi_i = 1 - \rho_i / \rho_{дв},$$
 (5)

где  $\rho_i$  – плотность  $i$ -го слоя;

$\rho_{дв}$  — плотность древесинного вещества, можно определить пористость пакета, а по известной пористости, согласно компрессионному уравнению, найти насыпную пористость и насыпную плотность всего пакета.

Система выражений (1)–(3) определяет множество допустимых структур пакетов, сформированных при заданных исходных данных.

Одной из основных конструктивных задач по созданию структуры композиционного пакета является получение заданного профиля плотности в направлении нормали к плоскости плиты. Чтобы сравнивать разные по эффективности решения, нужно иметь какой-либо количественный критерий или показатель эффективности (целевую функцию).

Целевая функция, оптимальное значение которой будет определять формирование изделия с заданным распределением плотности по толщине, может быть представлена одним из следующих вариантов:

$$\sum_{i=1}^I \left( \sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^K (\rho_{jmk} Z_{ijmk} - \rho_{зад_i})^2 \right), \quad (6)$$

$$\max_{i \in \{1, \dots, I\}} \left| \sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^K (\rho_{jmk} Z_{ijmk} - \rho_{зад_i}) \right|, \quad (7)$$

где  $\rho_{jmk}$  — плотность  $j$ -й фракции  $m$ -й породы, сжатой усилием  $k$ -й величины;

$\rho_{зад_i}$  — планируемая плотность  $i$ -го слоя в данном профиле.

С помощью критерия (6) задается близость в среднем заданной плотности  $\rho_{зад_i}$  и плотности, получаемой в результате решения задачи оптимального распределения фракций по слоям. Поэтому при данном критерии в каком-либо конкретном слое возможно некоторое расхождение заданного и расчетного значений плотности. Критерий (7) определяет равномерную (поточечную) близость заданной плотности  $\rho_{зад_i}$  и плотности, получаемой в результате решения задачи оптимального распределения фракций по слоям.

Выбор в качестве целевой функции выражения (6) или (7) определяется необходимой точностью искомого решения и, кроме того, зависит от алгоритмической реализации этой модели [10]. Задача поиска оптимальной структуры предполагает минимизацию либо выражения (6), либо выражения (7).

Таким образом, основная модель будет определяться или критерием (6) и системой условий (2), (3), или критерием (7) и системой условий (2), (3), где в качестве ведущего показателя эффективности выбрана степень близости заданного профиля плотности к тому профилю, который возможен в рамках имеющихся ресурсов. По этому показателю эффективности находят глобальный оптимум аппроксимации известной функции  $\rho_{зад_i}(Z_{ijmk})$ .

Расширим возможности предлагаемой модели формирования пакета. Требование, чтобы теплопроводность композита была не выше заданной, можно обеспечить системой неравенств

$$\sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^K \lambda_{jmk} Z_{ijmk} \leq \lambda_{зад_i}$$

для каждого слоя  $i, i \in \{1, \dots, I\}$ , (8)

где  $\lambda_{jmk}$  — теплопроводность  $j$ -й фракции  $m$ -й породы, сжатой  $k$ -м уровнем давления;

$\lambda_{зад_i}$  — константа, задающая уровень теплопроводности, который в создаваемом материале не может быть превышен.

Система неравенств (8) должна выполняться для каждого слоя. Физический смысл системы не-

равенств (8) состоит в том, что теплопроводность конкретного слоя не может превышать заданный уровень теплопроводности.

Если же теплопроводность композита выбрать в качестве показателя эффективности, т. е. ориентироваться на создание материалов, обладающих наилучшими теплоизолирующим свойствами, то целевую функцию можно представить выражением

$$\frac{1}{I} \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^K \lambda_{jmk} Z_{ijmk}, \quad (9)$$

которое должно быть минимизировано. Следовательно, если в заданных условиях задача оптимизации имеет решение, то теплопроводность данной плиты — наименьшая.

Экономические интересы можно учесть с помощью целевой функции вида

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^K C_{jm} \rho_{jm} Z_{ijmk}, \quad (10)$$

где  $C_{jm}$  — стоимость единицы массы  $j$ -й фракции  $m$ -й породы,

либо

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^K C_{jm} \frac{1}{\rho_{jm}} Z_{ijmk}, \quad (11)$$

где  $C_{jm}$  — стоимость единицы объема  $j$ -й фракции  $m$ -й породы.

Каждое из выражений (10), (11) в задаче оптимизации подлежит минимизации.

Массовый показатель эффективности можно ввести через выражение

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^K V_i \rho_{jm} Z_{ijmk}, \quad (12)$$

где  $V_i$  — объем элементарного  $i$ -го слоя.

Естественно, что выражение (12) в оптимальной модели должно быть минимизировано, а значит, если в заданных условиях задача оптимизации имеет решение, то масса данной плиты (при условии соблюдения остальных показателей готового изделия не ниже нормативных значений) будет наименьшей.

Решение экологических проблем целесообразно проводить на этапе моделирования прессования с учетом динамики физико-механических процессов, когда существенным фактором механических свойств готовых изделий выступают свойства синтетических смол, применяемых в качестве связующего.

## Результаты и обсуждение

Итак, формулирование проблемы оптимального формирования насыпной структуры пакета привело к необходимости учета ряда показателей эффективности. В корректной математической модели критерий оптимальности должен быть единственным, а значит, при наличии ряда показателей эффективности представлять собой свертку (объединение) частных показателей. Поэтому для рассмотрения вопросов формирования структуры пакета можно предложить следующие корректные модели, учитывающие введенные выше показатели эффективности.

1. *Модель формирования пакета, оптимизирующая распределение плотности в композите.*

Найти

$$\min \left( \max_{i \in \{1, \dots, I\}} \left| \sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^K (\rho_{jmk} Z_{ijmk} - \rho_{\text{зад}_i} (Z_{ijmk})) \right| \right) \quad (13)$$

при следующих условиях:

$$\sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^K a_{ijmk} Z_{ijmk} = 1 \quad (14)$$

для каждого слоя  $i, i \in \{1, \dots, I\}$ ,

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M Z_{ijmk} \leq q_k \quad (15)$$

для каждого  $k, k \in \{1, \dots, K\}$ ,

$$\sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^K \lambda_{jmk} Z_{ijmk} \leq \lambda_{\text{зад}_i} \quad (16)$$

для каждого слоя  $i, i \in \{1, \dots, I\}$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^K C_{jm} \frac{1}{\rho_{jm}} Z_{ijmk} \leq C_{\text{зад}}, \quad (17)$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^K V_i \rho_{jm} Z_{ijmk} \leq m_{\text{зад}}, \quad (18)$$

где  $Z_{ijmk} \in \{0, 1\}$ ,  $q_k \in \{0, 1\}$ . (19)

Здесь  $C_{\text{зад}}$  и  $m_{\text{зад}}$  — заданные стоимость и вес изделия соответственно.

При этом  $q_k \leq \sigma_r$  для любого  $k \in \{1, \dots, K\}$ , т. е. ни одно из значений кванта усилия не может превышать усилие, развиваемое данной конструкции прессом.

Физический смысл системы уравнений (14) состоит в том, что в конкретный  $i$ -й слой пакета из всего множества пород  $\{1, \dots, M\}$  и множества компонентов фракции  $\{1, \dots, J\}$  будет назначен только один конкретный компонент конкретной

породы, сжатый конкретным усилием.

Физический смысл системы неравенств (15) состоит в том, что если в конкретный  $i$ -й слой пакета из всего множества пород  $\{1, \dots, M\}$  и множества компонентов фракции  $\{1, \dots, J\}$  назначен только один конкретный компонент конкретной породы, то необходимо (обязательно) должен быть выбран конкретный уровень усилия  $k$ .

Физический смысл системы неравенств (16) состоит в том, что теплопроводность конкретного слоя не может превышать заданный уровень теплопроводности.

Здесь в качестве ведущего показателя эффективности выбрана степень близости заданного профиля плотности и того профиля, который возможен в рамках имеющихся ресурсов. По этому показателю эффективности находят глобальный оптимум равномерной поточечной аппроксимации известной функции  $\rho_{\text{зад}_i}(Z_{ijmk})$ .

Критерии эффективности, связанные с весовыми, стоимостными и теплофизическими показателями, реализуются с помощью неравенств (16)–(18), что фактически означает введение качественного показателя, так как система неравенств обеспечивает поиск оптимального назначения фракций в соответствующие слои только среди таких решений, которые безусловно удовлетворяют требуемому уровню качества (для этого и служат системы неравенств (16)–(18)). Применение формул (14), (15) обеспечивает в каждом допустимом (а значит, и в оптимальном) решении обязательное назначение только одной фракции в каждый слой пакета.

2. *Модель формирования пакета, оптимизирующая теплопроводность изделия.*

Найти

$$\min \left( \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^K \lambda_{jmk} Z_{ijmk} \right) \quad (20)$$

при следующих условиях:

$$\sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^K a_{ijmk} Z_{ijmk} = 1 \quad (21)$$

для каждого слоя  $i, i \in \{1, \dots, I\}$ ,

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M Z_{ijmk} \leq q_k \quad (22)$$

для каждого  $k, k \in \{1, \dots, K\}$ ,

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^K C_{jm} \frac{1}{\rho_{jm}} Z_{ijmk} \leq C_{\text{зад}}, \quad (23)$$

$$\sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^K \rho_{jmk} Z_{ijmk} \leq \rho_{\text{зад},i}$$

$$\sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^K \rho_{jmk} Z_{ijmk} \leq \rho_{\text{зад},i}$$

для каждого слоя  $i, i \in \{1, \dots, I\}$ , (24)

$$\rho_i^{\min} \leq \sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^K \rho_{jmk} Z_{ijmk} \leq \rho_i^{\max}$$

для каждого  $i, i \in \{1, \dots, I\}$ , (25)

где  $Z_{ijmk} \in \{0, 1\}$ ,  $q_k \in \{0, 1\}$ . (26)

Здесь  $\rho_i^{\min}$ ,  $\rho_i^{\max}$  — возможный диапазон изменения плотности в  $i$ -м слое.

Физический смысл системы уравнений (21) состоит в том, что в конкретный  $i$ -й слой пакета из всего множества пород  $\{1, \dots, M\}$  и множества компонентов фракции  $\{1, \dots, J\}$  будет назначен только *один* конкретный компонент конкретной породы, сжатый конкретным усилием.

Физический смысл системы неравенств (22) состоит в том, что если в конкретный  $i$ -й слой пакета из всего множества пород  $\{1, \dots, M\}$  и множества компонентов фракции  $\{1, \dots, J\}$  назначен только *один* конкретный компонент конкретной породы, то необходимо (обязательно) должен быть выбран конкретный уровень усилия  $k$ .

Физический смысл системы неравенств (25) состоит в том, что для конкретного  $i$ -го слоя пакета задан диапазон возможных значений плотностей от  $\rho_i^{\min}$  до  $\rho_i^{\max}$ .

Расчеты, проведенные по этой модели, обеспечат нахождение рецептуры пакета, имеющего наилучшие теплоизолирующие свойства из всех возможных комбинаций имеющихся фракций. При этом формулы (21), (22) задают однозначное назначение только одной фракции в каждый слой, неравенства (23) и (24) позволяют проводить поиск с учетом ограничений стоимости и веса изделий, а система неравенств (25) обеспечивает присутствие в рецептуре наиболее легких в весовом отношении фракций и заданный профиль пакета по плотности. Если профиль пакета по плотности не критичен, то в данной модели можно систему неравенств (25) заменить на систему неравенств (22).

3. Модель формирования пакета, оптимизирующая стоимость изделия.

Найти

$$\min \left( \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^K C_{jm} \frac{1}{\rho_{jm}} Z_{ijmk} \right) \quad (27)$$

при следующих условиях:

$$\sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^K a_{ijmk} Z_{ijmk} = 1$$

для каждого слоя  $i, i \in \{1, \dots, I\}$ , (28)

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M Z_{ijmk} \leq q_k$$

для каждого  $k, k \in \{1, \dots, K\}$ , (29)

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^K V_i \rho_{jm} Z_{ijmk} \leq m_{\text{зад}}, \quad (30)$$

$$\rho_i^{\min} \leq \sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^K \rho_{jmk} Z_{ijmk} \leq \rho_i^{\max}$$

для каждого  $i, i \in \{1, \dots, I\}$ , (31)

$$\sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^K \lambda_{jmk} Z_{ijmk} \leq \lambda_{\text{зад},i}$$

для каждого слоя  $i, i \in \{1, \dots, I\}$ , (32)

где  $Z_{ijmk} \in \{0, 1\}$ ,  $q_k \in \{0, 1\}$ .

Данная модель позволяет определять самый экономичный вариант пакета.

Физический смысл системы уравнений (28) состоит в том, что в конкретный  $i$ -й слой пакета из всего множества пород  $\{1, \dots, M\}$  и множества компонентов фракции  $\{1, \dots, J\}$  будет назначен только *один* конкретный компонент конкретной породы, сжатый конкретным усилием.

Физический смысл системы неравенств (29) состоит в том, что если в конкретный  $i$ -й слой пакета из всего множества пород  $\{1, \dots, M\}$  и множества компонентов фракции  $\{1, \dots, J\}$  назначен только *один* конкретный компонент конкретной породы, то обязательно должен быть выбран конкретный уровень усилия  $k$ .

Физический смысл системы неравенств (30) состоит в задании весового ограничения.

Физический смысл системы неравенств (31) состоит в том, что для конкретного  $i$ -го слоя пакета задан диапазон возможных значений плотности от  $\rho_i^{\min}$  до  $\rho_i^{\max}$ .

Физический смысл системы неравенств (32) состоит в том, что теплопроводность конкретного слоя не может превышать заданный уровень теплопроводности.

4. Модель формирования пакета, оптимизирующая массу изделия.

Найти:

$$\min \left( \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^K V_i \rho_{jm} Z_{ijmk} \right) \quad (33)$$

при следующих условиях:

$$\sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^K a_{ijmk} Z_{ijmk} = 1$$

для каждого слоя  $i, i \in \{1, \dots, I\}$ , (34)



$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M Z_{ijmk} \leq q_k$$

для каждого  $k, k \in \{1, \dots, K\}$ , (35)

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^K C_{jm} \frac{1}{\rho_{jm}} Z_{ijmk} \leq C_{\text{зад}},$$
 (36)

$$\rho_i^{\min} \leq \sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^K \rho_{jmk} Z_{ijmk} \leq \rho_i^{\max}$$

для каждого  $i, i \in \{1, \dots, I\}$ , (37)

$$\sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^K \lambda_{jmk} Z_{ijmk} \leq \lambda_{\text{зад},i}$$

для каждого слоя  $i, i \in \{1, \dots, I\}$ , (38)

где  $Z_{ijmk} \in \{0, 1\}$ ,  $q_k \in \{0, 1\}$ .

Физический смысл системы уравнений (34) состоит в том, что в конкретный  $i$ -й слой пакета из всего множества пород  $\{1, \dots, M\}$  и множества компонентов фракции  $\{1, \dots, J\}$  будет назначен только *один* конкретный компонент конкретной породы, сжатый конкретным усилием.

Физический смысл системы неравенств (35) состоит в том, что если в конкретный  $i$ -й слой пакета из всего множества пород  $\{1, \dots, M\}$  и множества компонентов фракции  $\{1, \dots, J\}$  назначен только *один* конкретный компонент конкретной породы, то обязательно должен быть выбран конкретный уровень усилия  $k$ .

Физический смысл системы неравенств (37) состоит в том, что для конкретного  $i$ -го слоя пакета задан диапазон возможных значений плотности от  $\rho_i^{\min}$  до  $\rho_i^{\max}$ .

Физический смысл системы неравенств (38) состоит в том, что теплопроводность конкретного слоя не может превышать заданный уровень теплопроводности.

## Выводы

С помощью описанных моделей можно строго обосновывать требования к новым композиционным материалам, а также существенно улучшить структуру уже известных композитов, задавая

определенные значения характеристик.

Специфика переменных, используемых в данных моделях, а именно их целочисленность и двоичный (булевый) характер, позволяет проводить поиск алгоритмов решения задачи оптимального формирования пакета среди методов неявного перебора. Вопросы алгоритмической реализации предложенных моделей могут быть рассмотрены в рамках целочисленного программирования [10–12].

## Список литературы

- [1] Тулузаков Д.В., Лапшин Ю.Г., Родионов А.И. Определение оптимальных параметров древесно-стружечных плит в мебельных конструкциях // Вестник МГУЛ — Лесной вестник, 2009. № 3 (66). С. 80–81.
- [2] Архипов А.С., Лапшин Ю.Г., Тулузаков Д.В. Прочность древесно-стружечных плит в мебельных конструкциях // Лесной журнал, 2012. № 4. С. 106–108.
- [3] Лапшин Ю.Г., Тулузаков Д.В., Архипов А.С. Древесно-стружечные плиты как конструкционный материал для корпусной мебели // Вестник МГУЛ — Лесной вестник, 2015. № 6. С. 104–111.
- [4] Тулузаков Д.В. Прочностные показатели древесно-стружечной плиты при изгибе в зависимости от ее профиля плотности // Сб. науч. тр. МЛТИ, 1989. Вып. 215. С. 36–42.
- [5] Тулузаков Д.В., Васильев М.И., Осипова В.Н. Влияние распределения плотности и расхода связующего по толщине ДСтП на показатели прочности древесно-стружечной плиты // Сб. тр. МГУЛ, 1998. Вып. 290. С. 44–46.
- [6] Лапшин Ю.Г., Тулузаков Д.В., Архипов А.С. Напряжения в элементах структуры древесно-стружечных плит // Вестник МГУЛ — Лесной вестник, 2009. № 2 (65). С. 133–135.
- [7] Тулузаков Д.В., Лапшин Ю.Г., Архипов А.С. Прочность при чистом сдвиге анизотропных материалов // Вестник МГУЛ — Лесной вестник, 2015. № 1. С. 28–31.
- [8] Тулузаков Д.В., Спиринов Б.Л. Реологическая модель ДСтП на этапе прессования // Вестник МГУЛ — Лесной вестник, 2006. № 6 (48). С. 122–127.
- [9] Тулузаков Д.В., Спиринов Б.Л. Методика определения коэффициентов реологической модели ДСтП на этапе прессования // Вестник МГУЛ — Лесной вестник, 2015. Т. 19. № 1. С. 31–40.
- [10] Сергиенко И.В., Лебедева Т.Т., Рощин В.А. Приближенные методы решения дискретных задач оптимизации. Киев: Наукова думка, 1980. 275 с.
- [11] Саати Т. Целочисленные методы оптимизации и связанные с ними экстремальные проблемы. М.: Мир, 1973. 302 с.
- [12] Ху Т. Целочисленное программирование и потоки в сетях. М.: Мир, 1974. 519 с.

## Сведения об авторах

Тулзаков Дмитрий Владимирович — канд. техн. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), tuluzakov@mgul.ac.ru

Спирин Борис Леонидович — старший преподаватель МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), spirin@mgul.ac.ru

Принята к публикации 30.10.2017.

Поступила в редакцию 18.12.2017.

## MODEL FOR FORMING THE SHAFT STRUCTURE OF A PACKAGE OF COMPOSITE MATERIAL FROM MILLED WOOD PARTICLES

D.V. Tuluzakov, B.L. Spirin

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

tuluzakov@mgul.ac.ru

The purpose of the conducted researches is definition of structural and mechanical characteristics of a package of composite material from the wood chips and parameters of the mode of pressing for receiving plates with optimum characteristics of durability, rigidity, product cost. The main problem which is solved in the presented work, consists in development of model of formation of bulk structure of a package of composite material of the wood chips. Indicators of physicomaterial properties of wood composites in rather big degree can be differentiated according to areas of their application in this or that design. One of the main structural characteristics of plates is distribution of density on thickness on which final physical and mechanical indicators of finished products in many respects depend. The defining factors of distribution of density, (respectively and porosity) a composite, are: structure of a disperse phase, mass fraction of binding and its property, and also compression characteristics of a disperse phase. Inclusion or not inclusion of any fraction in structure of a package allows to formulate the offered mathematical model in terms of models of integer mathematical programming. Before carrying out calculations quantization (sampling) of a composite on product thickness is carried out; the effort developed by a press; fractional structure of particles and breed of wood of which shaving is made. By results of quantization of efforts the compression matrix  $|\rho_{jmk}|$ , which element is value of density of  $j$ -fractions of  $m$ -breed squeezed by effort of  $k$ -sizes is formed. The effort developed by a press cannot exceed its constructive opportunities therefore the matrix of admissible efforts in synthesizable technology with elements  $a_{ijmk}$  an is entered. Communication between the presented groups of variables is a need to provide appointment in the optimum solution of effort of a press with the level equal to  $P_k$ . As a result of the decision of the systems of the equations presented in work the  $Z_{ijmk}$  variables which values define appointment in each  $i$ -layer of a package of the concrete fraction belonging to concrete breed and experiencing compression by quite certain effort from press plates are defined  $\sigma_r$ . It is possible to determine material density in any its point (layer) by the found vector of  $|Z_{ijmk}|$  and a known compression matrix of  $|\rho_{jmk}|$ . Further, using a known formula for determination of porosity, it is possible to determine porosity of a package, and by known porosity, according to the compression equation, and bulk porosity, and the bulk density of all package. Having conducted researches on the offered models it is possible to prove requirements to new composite materials, and also it is essential to improve structure of already known composites, providing the necessary level of characteristics.

**Keywords:** simulation, composite materials, strength, hardness, density, pressure.

**Suggested citation:** Tuluzakov D.V., Spirin B.L. *Model' formirovaniya nasypnoy struktury paketa kompozitsionnogo materiala iz izmel'chennykh drevesnykh chastits* [Model for forming the shaft structure of a package of composite material from milled wood particles]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 2, pp. 95–103. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-2-95-103

## References

- [1] Tuluzakov D.V., Lapshin Yu.G., Rodionov A.I. *Opredelenie optimal'nykh parametrov drevesno-struzhechnykh plit v mebel'nykh konstruktivnykh* [Determination of optimum parameters of particleboard in furniture designs]. *Moscow State Forest University Bulletin — Lesnoy vestnik*, 2009, no. 3 (66), pp. 80–81.
- [2] Arkhipov A.S., Lapshin Yu.G., Tuluzakov D.V. *Prochnost' drevesno-struzhechnykh plit v mebel'nykh konstruktivnykh* [The strength of particleboard in furniture designs]. *Lesnoy zhurnal [Journal of Forest]*, 2012, no. 4, pp. 106–108.
- [3] Lapshin Yu.G., Tuluzakov D.V., Arkhipov A.S. *Drevesno-struzhechnye plity kak konstruktivnyy material dlia korpusnoy mebeli* [Wood and shaving boards as the construction material for office furniture]. *Moscow State Forest University Bulletin — Lesnoy vestnik*, 2015, no. 6, pp. 104–111.
- [4] Tuluzakov D.V. *Prochnostnye pokazateli drevesno-struzhechnoy plity pri izgibe v zavisimosti ot ee profilya plotnosti* [Strength indicators of a wood chipboard at a bend depending on its profile of density]. [Collection of scientific works MLTI], 1989, no. 215, pp. 36–42.

- [5] Tuluzakov D.V., Vasil'ev M.I., Osipova V.N. *Vliyaniye raspredeleniya plotnosti i raskhoda svyazuyushchego po tolshchine DStP na pokazateli prochnosti drevesno-struzhechnoy plity* [Influence of distribution of density and an expense binding on DStP thickness on indicators of durability of a wood chipboard]. [Collection of scientific works MGUL], 1998, no. 290, pp. 44–46.
- [6] Lapshin Yu.G., Tuluzakov D.V., Arkhipov A.S. *Napryazheniya v elementakh struktury drevesno-struzhechnykh plit* [The stresses in the elements of the structure of chipboard]. Moscow State Forest University Bulletin — Lesnoy vestnik, 2009, no. 2 (65), pp. 133–135.
- [7] Tuluzakov D.V., Lapshin Yu.G., Arkhipov A.S. *Prochnost' pri chistom sdvige anizotropnykh materialov* [In pure shear strength of anisotropic materials]. Moscow State Forest University Bulletin — Lesnoy vestnik, 2015, no. 1, pp. 28–31.
- [8] Tuluzakov D.V., Spirin B.L. *Reologicheskaya model' DStP na etape pressovaniya* [Rheological model of chipboard on stage compression]. Moscow State Forest University Bulletin — Lesnoy vestnik, 2006, no. 6 (48), pp. 122–127.
- [9] Tuluzakov D.V., Spirin B.L. *Metodika opredeleniya koeffitsientov reologicheskoy modeli DStP na etape pressovaniya* [Method for determining factor rheological models of chipboard during press]. Moscow State Forest University Bulletin — Lesnoy vestnik, 2015, no. 1, pp. 31–40.
- [10] Sergienko I.V., Lebedeva T.T., Roshchin V.A. *Priblizhennyye metody resheniya diskretnykh zadach optimizatsii* [Approximate methods for solving discrete optimization problems]. Kiev: Naukova dumka Publ., 1980, 275 p.
- [11] Saati T. *Tselochislennyye metody optimizatsii i svyazannyye s nimi ekstremal'nyye problemy* [Integer optimization methods and related extreme problems]. Moscow: Mir Publ., 1973, 302 p.
- [12] Hu T. *Tselochislennoe programmirovaniye i potoki v setyakh* [Integer programming and flows in networks]. Moscow: Mir Publ., 1974, 519 p.

## Autors' information

**Tuluzakov Dmitriy Vladimirovich** — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of BMSTU (Mytishchi branch), tuluzakov@mgul.ac.ru

**Spirin Boris Leonidovich** — Senior Lecturer of BMSTU (Mytishchi branch), spirin@mgul.ac.ru

Received 30.10.2017.

Accepted for publication 18.12.2017.

УДК 676.017

DOI: 10.18698/2542-1468-2018-2-104-116

## КОНЦЕПЦИЯ СОЗДАНИЯ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОЙ ПИЩЕВОЙ УПАКОВКИ ИЗ ВТОРИЧНЫХ ЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ МАТЕРИАЛОВ

С.М. Тарасов, А.Н. Иванкин, И.В. Грачева, П.К. Леонтьев

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

Проведен подробный анализ переработки вторичного волокнистого сырья в России и за рубежом. Рассмотрены вопросы утилизации отходов этого производства. Производство влагопрочной пищевой упаковки, главным образом коробочного картона, — один из самых действенных методов борьбы с накоплением отходов на бумажных фабриках. В композиции коробочного картона можно широко использовать волокнисто-минеральные отходы переработки макулатуры. Необходимо возродить производство картоноделательных машин, повсеместно и необоснованно замененных унифицированными машинами двухсеточного формования. Грамотное сочетание механических методов обработки растительных волокон с современными достижениями химической технологии бумажного производства позволит выпускать высококачественный, дешевый и экологически безопасный коробочный картон для пищевой упаковки. Рассмотрены оригинальные химические технологии, которые дают возможность пойти разными путями при производстве коробочного картона в зависимости от его конкретного назначения. Новая ресурсосберегающая технология позволит производить пищевую упаковку с полным импортозамещением, благодаря чему российские бумажные фабрики не будут зависеть от продукции международных химических концернов. Данная технология будет полезна и европейским странам, где накопление и утилизация отходов бумажных фабрик является существенной проблемой. Показаны перспективы развития предлагаемых технологий в будущем.

**Ключевые слова:** пищевая бумажно-картонная упаковка, экологически безопасный картон

**Ссылка для цитирования:** Тарасов С.М., Иванкин А.Н., Грачева И.В., Леонтьев П.К. Концепция создания высококачественной пищевой упаковки из вторичных целлюлозных материалов // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 2. С. 104–116. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-2-104-116

По современным оценкам (2017), основная часть упаковки из бумажно-картонных материалов изготавливается из вторичного волокнистого сырья [1–3].

### Цель работы

Цель работы — провести подробный анализ состояния вопроса переработки вторичного волокнистого сырья в России и за рубежом.

### Материалы и методы исследования

Согласно отчетам гиганта McDonald's, одного из мировых лидеров по потреблению пищевой бумажно-картонной упаковки, вся используемая им тара на 100 % состоит из вторичного сырья, включая даже крафт-мешки для переноса еды, в том числе горячей еды, перемещаемой на большие расстояния [4, 5]. Анализ бумаги показывает, что она изготовлена из хвойной сульфатной небеленой целлюлозы и полуцеллюлозы типа «крафт» производства предположительно Архангельского и Котласского ЦБК. Однако большинство видов такой бумаги выпускается не на российских предприятиях, о чем свидетельствует характер формования и распределения волокон в бумажном листе, поскольку выполнен достаточно аккуратный и грамотный размол с высокой степенью фибрилляции волокон, с максимальным сохранением их длины и бумагообразующих свойств. По данным

компании McDonald's, такая бумага изготовлена из сырья, прошедшего три-четыре цикла переработки. Однако наличие определенного количества длиноволокнистой и хорошо фибриллированной фракции говорит о добавке к этому сырью 25...30 % вторичного сырья, «не бывшего в употреблении», что является вполне достаточным для получения хорошей бумаги типа «крафт» при соблюдении остальных условий технологии [6].

Как показал наш анализ, мера эта вынужденная, поскольку вторичное волокнистое сырье, проходящее в странах Европы многократные (до 14 и более) циклы переработки, представляет собой материал, состоящий из коротких и «слабых» волокон, имеющих малую способность к размолу и очень низкие бумагообразующие свойства [3, 6]. Для стран Европы накопление такого сырья в общем цикле переработки макулатуры — явление вполне естественное при очень высокой степени возврата макулатуры (от 70 до 90 %) для разных стран.

В России же, где реальная степень возврата макулатуры не превышает 15 %, качество вторичного волокна, приходящего на бумажные фабрики, достаточно высокое. А низкое качество продукции обусловлено не качеством сырья, а серьезными нарушениями технологии, связанными с отсутствием на бумажных фабриках необходимого перерабатывающего оборудования или неверно заданными параметрами его работы.



Так, на Караваевской бумажной фабрике прирост степени помола после прохождения массы через дисковую мельницу составляет всего 1 °ШР, т. е. мельница фактически «гоняет воду», потребляя при этом значительное количество электроэнергии. Кроме того, некорректно используются импортные реагенты для производства бумажной массы. Технологии фабрик часто даже не знают, что находится в поставляемых на фабрики контейнерах, и технологию применения реагентов устанавливают представители химических концернов, продающих на фабрики свою продукцию, таких как Hercules, BASF, Kemira Novo, их дочерние предприятия и др.

Таким образом, в российской бумажной промышленности сложилась противоестественная ситуация с производством бумаги для упаковки. С одной стороны, налицо явная тенденция к экономии, в основном на капитальных вложениях, очистке выбросов и цеховой себестоимости продукции. С другой — огромные и ничем не оправданные потери, связанные с нарушениями технологического режима, особенно при использовании химической технологии.

По данным опытно-промышленных испытаний, проведенных на Полотняно-заводской бумажной фабрике (в том числе с участием авторов), бумагообразующий потенциал российской «коричневой» макулатуры (смесь марок МС-6 и МС-7) очень высок [7]. После установки и наладки новой размольной линии на упомянутой фабрике разрывная длина производимой бумаги достигала 11 000 м, что приближает ее по свойствам к крафт-бумаге из свежей целлюлозы или полуцеллюлозы. В то же время на некоторых других фабриках, где имеются существенные нарушения режима размола, данный показатель находится в районе 4500...5000 м. Это еще раз подтверждает высокое качество российского вторичного волокна, а также известную среди бумажников поговорку «Бумага создается в роллах» [8].

В настоящее время (2017) признано, что основным направлением переработки вторичного волокнистого сырья должно быть производство упаковочных видов бумаги и картона [3]. За редким исключением в России так и есть. Например, вышеупомянутая Полотняно-заводская бумажная фабрика была перепрофилирована на бумагу для ученических тетрадей и имеет долгосрочный контракт с сетью гипермаркетов Auchan, выпускающая бумагу под их маркой. Однако, несмотря на усилия руководства фабрики и использование высококачественного сырья (макулатура высших марок МС-1 и МС-2), высокое качество бумаги так и не было достигнуто, поскольку на фабрике, как и везде в России, не освоена технология так называемого деинкинга (англ. *deinking* — удале-

ние печатной краски). Макулатура МС-2 всегда содержит печатную краску, а МС-1 (не бывшая в употреблении макулатура из белой целлюлозы) — сравнительно редкий вид сырья и стоит дорого. Многочисленные сортировки распускающего и размалывающего оборудования не могут решить проблему загрязненности массы печатной краской. Поэтому после прохождения через всю эту довольно громоздкую линию частицы краски измельчаются до дисперсного состояния и осаждаются на волокне. В результате получается бумага характерного серого цвета. Флотаторы для деинкинга не столь дороги, но довольно трудно реализовать данную технологию, требующую строгого соблюдения технологических параметров и качественных реагентов, в условиях российского производства.

Европейская бумажная промышленность, почти на 100 % ориентированная на переработку вторичного волокнистого сырья, наряду с упаковочной производит и печатную бумагу [9–11]. Однако из-за общего низкого качества европейского вторичного волокна, прошедшего многократные циклы переработки, качество этой печатной бумаги-основы не слишком высокое.

Анализ показывает, что такая европейская бумага практически на 100 % состоит из короткого волокна, достаточно хорошо и аккуратно размолотого, с хорошими характеристиками просвета бумажного листа. Однако механические характеристики у нее очень низкие, цвет серый или светло-серый, и из такой бумаги невозможно выполнить качественную печатную продукцию с высокими эстетическими свойствами — она даже не проходит через современные печатные машины, из-за склонности к обрывам и разрушению поверхности при малейшем механическом воздействии. Способ преодоления данного недостатка, выбранный европейскими производителями, на первый взгляд, вполне логичен. Надо достаточно тонкую и непрочную серую основу «загнать» между двумя мелованными слоями, состоящими из минерального пигмента и связующего, после чего не только возрастают эстетические свойства бумаги, но и снижается ее обрывность, повышается прочность поверхности. Бумага становится пригодной к высокохудожественной многокрасочной печати, в основном глубоким способом. На такой бумаге печатают все гляцевые журналы. Современные меловальные установки, например установка «Бриллиантового мелования» германской фирмы VOITH, позволяет достичь не только очень высокой скорости нанесения покрытия (до 3000 м/мин), но и гладкости, просто нереальной для аналогичных российских сортов: до 100 000 с против 700...1000 с у российских сортов.

Однако значительное увеличение выпуска мелованной бумаги в Европе привело к тому, что эта бумага стала возвращаться на бумажные фабрики в виде практически негодного волокнистого материала, превращающегося при переработке в целлюлозную пыль, и огромного количества мела в смеси с липкими веществами (в современной переводной русскоязычной литературе можно встретить термин «липучки») — в основном отработанными и потерявшими свои свойства латексами и другими полимерами. Наличие этих сортов представляет для европейских бумажных фабрик серьезные трудности, многолетняя борьба с которыми пока остается безуспешной [3].

В России эта проблема также существует, пусть и не в таких масштабах, как в Европе. Собственного производства мелованной бумаги в России почти нет, однако гляцевые журналы продаются не менее активно, чем за рубежом, и часть их все равно возвращается на бумажные фабрики в виде макулатуры. Для печатных видов бумаги российского производства такое сырье, разумеется, не годится, и поэтому, попав на фабрику, оно целиком используется для производства тароупаковочных видов.

В качестве одного из решений проблемы накопления отходов от переработки печатной макулатуры (целлюлозная пыль, мел, липкие загрязнения и др.) можно использовать те сорта макулатуры, которые больше всего дают подобные отходы, для производства тароупаковочных видов бумаги. У тароупаковочных видов масса 1 м<sup>2</sup> листа в среднем значительно больше, чем у печатных, поэтому логично было бы попытаться в такую толщу бумажного или картонного листа «загнать» как можно больше отходов. В этом случае их отрицательное влияние на свойства конечной продукции окажется меньше, чем при производстве печатной бумаги. На первый взгляд кажется, что это тоже не выход, поскольку, по статистике, 70...80 % такой бумаги все равно вернется на фабрики в виде макулатуры вместе со всеми «загнанными» в нее отходами. Однако приводимые в большинстве источников статистические данные носят, как правило, усредненный характер. Если более детально углубиться в вопрос, то выяснится, что в Европе в производство возвращается более 90 % упаковки бытовых и промышленных товаров и всего 30...40 % упаковки пищевых продуктов. И все это — несмотря на давно практикующийся в Европе «раздельный сбор» бытовых отходов.

Почему же в этом случае желаемое так расходится с действительностью? Дело в том, что свыше половины пищевой упаковки производится из влагопрочных видов бумаги и картона, у которых при намокании прочность сохраняется

более чем на 50 %. Роспуск такой макулатуры на стандартном оборудовании бумажных фабрик весьма сложен и, по данным некоторых исследователей, не всегда возможен, а если и возможен, то нерентабелен. Кроме того, значительную долю пищевой бумажной упаковки составляют композиционные материалы, часто многослойные, различные ламинаты, где бумага может комбинироваться с алюминиевой фольгой, полиэтиленом и др. Такая упаковка считается не подлежащей переработке на бумажных фабриках. Также на рынке много жиростойкой бумажной упаковки, которая представлена пергаментом разных сортов, главным образом китайского производства, и также не распускается на стандартных гидроразбивателях [6].

Как отмечает автор классической монографии [8], посвященной переработке вторичного волокна, пищевая упаковка почти всегда загрязнена остатками пищевых продуктов, которые подвержены быстрой биологической порче, что доказывает и опыт переработки такого сырья на российских фабриках. Хуже всего, что это порча продолжается и тогда, когда вторичное волокно попадает в технологический поток бумажной фабрики, являющийся благоприятной средой для размножения грибов, бактерий и прочих микроорганизмов, в том числе болезнетворных. На зарубежных фабриках эта проблема кардинально решена путем термодиспергирования массы на стадии дороспуска при температуре 130...145 °С. В этих условиях все живое, находящееся в бумажной массе, погибает. На большинстве же российских фабрик этой процедуры нет, поэтому их технологические потоки загрязнены и заражены. Это загрязнение не только негативно отражается на себестоимости и качестве продукции (поскольку некоторые дорогостоящие реагенты, например, катионные крахмалы, в таких условиях портятся за считанные минуты), но и представляют потенциальную опасность для персонала, особенно летом.

Следует отметить, что термин «макулатура» не встречается в современной англоязычной литературе. Вместо него употребляют термины *recycling paper* и *recycling fiber* — «рециркулирующие», т. е. перерабатываемые бумага и волокно соответственно. В России же в последнее время стал популярным термин «вторичное волокно», а название «макулатура» у бумажников уже считается немного вульгарным [8, 10, 12].

Совершенно ясно, что такое отношение к термину «макулатура» пришло в Россию из стран Запада. Заметим, что наряду с высокочастотными терминами *recycling paper* и *recycling fiber* иногда употребляется выражение *waste paper*, причем в негативном смысле. Европейские технологи и ученые не любят работать с этой «грязной бумагой» и, главное, не видят перспек-

тив в ее использовании в качестве сырья, отмечая, что значительная ее часть не годится к переработке вообще, а та часть, которая все-таки перерабатывается, повсеместно вызывает производственные проблемы и биологического, и технологического характера [13, 14].

Собственно, *waste paper* («грязная бумага») и есть макулатура (нем. *Makulatur*, от лат. *maculo* — пачкаю) в современном европейском понимании этого слова. Поскольку работы европейских специалистов, содержащие данный термин, публикуются в основном в издательствах, контролируемых TAPPI Press (ассоциация, центр которой в США), очевидно, что этот термин и был заимствован у американцев. И изначально его упортебляли применительно к пищевой упаковке, из отходов деятельности таких сетей общественного питания, как McDonald's, Yum! Brands (дочерние компании — KFC, Pizza Hut, Taco Bell), Burger King, Subway и др.

Резюмируя вышеизложенные сведения, можно утверждать, что:

– несмотря на хорошо налаженную в странах Запада систему возврата пищевой упаковки, степень утилизации ее достаточно низка и не превышает 40 %, что обусловлено технологическими трудностями переработки, особенно на стадии роспуска, так как упаковка влагопрочная и часто жиростойкая;

– потенциально высока биологическая опасность упаковки, загрязненной пищевыми отходами. Эту проблему можно решить при переработке, используя технологию горячего роспуска, а затем термодиспергирования. Однако в процессе складского хранения такой макулатуры процессы гниения остатков пищи продолжают, равно как и размножение микрофлоры, в том числе болезнетворной. Это и обуславливает негативное отношение европейских производителей к такой макулатуре, особенно в связи с тем, что площади складов сырья у европейских бумажных фабрик ограничены, склады имеют большую высоту, поэтому процессы гниения и брожения активно продолжают в самой толще хранимой макулатуры.

Учитывая эти факторы, авторы готовы предложить ряд технологических рекомендаций, которые могут быть полезны как европейским, так и российским производителям пищевой упаковки.

Выше говорилось о постепенном превращении волокна в волокнистую пыль в результате многократных циклов переработки, что характерно для европейских бумажных фабрик. Использование таких отходов в совокупности с минеральными примесями, также образующимися при переработке макулатуры, для изготовления бумаги и картона с высокой степенью возврата нецелесообразно, так как эти отходы, если даже и удержатся в листе без существенных ухудшений его свойств, все равно

вернутся в производство, причем в еще большем количестве. С учетом того, что степень возврата пищевой упаковки сравнительно невысока, целесообразно добавлять такие отходы в композицию (до 30 %), особенно при производстве бумаги и картона сравнительно большой плотности (свыше 130 г/м<sup>2</sup>). При надлежащем использовании такой минерально-волоконный наполнитель хорошо удерживается в толще листа и практически не оказывает отрицательного влияния на его свойства. Более того, некоторые исследователи отмечали возможное повышение показателей, важных для таких видов картона: сопротивления продавливанию и жесткости. Проведенные авторами испытания подтверждают это [15, 16].

В производстве крафт-мешков для переноски еды подобную технологию применять пока рано, поскольку не все ее аспекты разработаны, зато в производстве пищевого картона и бумаги для гофрирования, например, для упаковки мороженого, мясных изделий и других продуктов ее уже можно использовать [15, 17].

К сожалению, мировое производство коробочного картона в настоящее время неуклонно падает. Связано это с унификацией бумагоделательного оборудования, от которого требуется работа на максимальных скоростях. Картоноделательные машины (КДМ) (само понятие уже начинает выходить из употребления) старого образца — круглосеточные — работают с очень низкой скоростью (около 100 м/мин). Более современные многосеточные КДМ типа «Инверформ» также по современным меркам имеют не очень высокую скорость, обычно в пределах 800 м/мин, и при этом отличаются сложностью конструкции и громоздкостью. Унифицированные же машины для производства картона-лайнера (например, «Дуоформер» фирмы «Фойт») очень быстрые, скорость свыше 1500 м/мин, полностью автоматизированы и сконструированы по модульному принципу, т. е. заменять или модернизировать отдельные узлы в них достаточно удобно. Поэтому КДМ повсеместно вытесняются сверхскоростными двухсеточными машинами, а коробочного картона, который может быть изготовлен только на КДМ, производится в мире все меньше и меньше [15].

В то же время коробочный картон — это материал, который на КДМ изготавливается многослойным до восьми слоев. Его часто путают с тарным картоном, а в зарубежной литературе такое понятие вообще исчезло. Принцип его изготовления состоит в том, что формирующие устройства КДМ кладут несколько относительно тонких слоев массы последовательно один на другой, потом сформованный лист картона проходит через классические стадии прессования и сушки.



При этом в качестве верхних слоев можно положить относительно благородные волокнистые полуфабрикаты — беленую целлюлозу, если требуется последующая печать, или крафт-целлюлозу как несущий каркас материала. Внутри же такого картона можно вводить все, что угодно: макулатурную массу, даже отходы ее переработки — осадок, состоящий из волокнистой пыли и минерального пигмента примерно в соотношении 50:50. Появление в структуре картона такого «балласта» из отходов не влияет на его прочностные показатели, поскольку многослойный коробочный картон значительно прочнее, чем аналогичный картон такой же массы, но изготовленный формованием в один слой. Более того, эти отходы могут повысить такое важное свойство коробочного картона, как жесткость. Кроме того, чтобы утилизировать упомянутые отходы, целесообразно делать коробочный картон для безвозвратной упаковки (это упаковка некоторых пищевых продуктов, например, замороженного или охлажденного мяса). В таком случае мы получим достаточно надежную и недорогую упаковку, которая гарантированно не вернется обратно в производство, и решим проблему накопления на фабриках отходов переработки макулатуры. А отработанную упаковку можно использовать в качестве топлива, предварительно изготовив из нее брикеты; соответствующие технологии имеются, но промышленники упорно не хотят их внедрять. Более того, в Европе было проведено целенаправленное уничтожение КДМ как якобы устаревших и замена их на двухсеточные машины, вызывающие накопление огромного количества отходов, с которыми фабрики не могут справиться.

В России, наоборот, КДМ еще кое-где остались и на них делают коробочный картон по ТУ, главным образом из макулатуры, причем в рекламе предприятий указано, что он выпускается еще по советским ГОСТам, давно утратившим силу. И это при том, что не существовало ни одного советского ГОСТа на бумажную продукцию из макулатуры, а в указываемых в рекламе ГОСТах приводятся данные похожей продукции из первичного волокна. Сложилась нелепая ситуация: в европейских странах, где степень возврата макулатуры доходит до 70 % (с учетом всех марок выпускаемой бумаги), КДМ были бы очень нужны для переработки отходов бумажных фабрик, но их ликвидировали. В России же, где степень возврата макулатуры около 12 % и особой надобности в КДМ нет, они продолжают работать.

Таким образом, не очень быстрые, но неприхотливые в обслуживании и надежные, КДМ старого образца могли бы выступить в роли своеобразных «чистильщиков» европейских циклов вторичного волокна от всяких отходов и неконди-

ции, выпуская дешевый, прочный и качественный влагопрочный коробочный картон для пищевой упаковки, которая потом почти на 100 % перерабатывалась бы в топливные брикеты. Высокая рентабельность подобного производства многократно покрывает ее предполагаемое снижение из-за низкой скорости машин. Следовательно, выход из сложившейся в Европе ситуации с общим падением качества вторичного волокна и накоплением отходов его переработки, на наш взгляд, вполне очевиден. Однако это невыгодно международным банковским организациям, которым необходимо держать европейскую бумажную промышленность в полной зависимости от их кредитной политики. В результате европейское производство картона и пищевой упаковки фактически буксует, зато рынок наводнил китайский тарный картон очень низкого качества, производство которого в настоящее время превысило 2 млн т в год.

В 2001–2004 гг. авторы занимались опытно-промышленным производством коробочного картона для пищевой упаковки в рамках Российского мегапроекта по созданию отечественной технологии переработки вторичного волокнистого сырья, а также в рамках собственных исследований в этой области. Работа выполнялась совместно с такими предприятиями, как ОАО «ЦНИИБ», ОАО «Каравасово», Полотняно-заводская бумажная фабрика и Ступинский картонно-полиграфический комбинат (КПК). Учитывая особенности многослойной структуры коробочного картона, которую невозможно воспроизвести на обычном лабораторном листоотливном аппарате, мы вынуждены были прибегнуть к испытаниям опытно-промышленных образцов, изготовленных на КДМ Ступинского КПК. Разработки же выполнялись как в лабораториях Московского государственного университета леса, так и на вышеуказанных предприятиях. Ступинский КПК изначально имел две небольшие круглосеточные КДМ общей производительностью около 20 тыс. т в год. Машины были старого образца, но с широкими возможностями варьирования технологических параметров. На момент начала наших испытаний (2001) осталась только одна КДМ. В рамках курируемого ОАО «ЦНИИБ» мегапроекта нами было предложено несколько вариантов технологии производства коробочного картона для пищевой упаковки. Технология предполагала использование для внешних слоев картона относительно благородной макулатуры — белой (МС-1 + МС-2), если на картон будет наноситься печать, или коричневой (МС-6 + МС-7), если печати не будет. Внутренние слои должны были изготавливаться из макулатуры низших марок типа МС-13 или близких к ней, причем степень очистки массы для внутренних слоев подразуме-



валась только такая, которая гарантировала бы надежную работу оборудования без повреждений и износа. Удалялись относительно крупные включения и часть липких загрязнений, а печатная краска, минеральный наполнитель и прочие примеси, не влияющие на работу оборудования, оставались в массе. Механическая обработка массы для внутренних слоев предполагала достаточно тщательный роспуск, гарантировавший полное разволокнение. Для этого вместо оставшихся на предприятии еще с советских времен пульсационных мельниц, не годящихся для обработки макулатурной массы, рекомендовалось установить энтштипперы. Сильному же размолу подвергать эту массу не рекомендовалось. Для массы, идущей на изготовление внешних слоев картона, рекомендован аккуратный размол с настройкой размалывающей аппаратуры (дисковые мельницы) таким образом, чтобы происходили фибриллирование и гидратация волокон без их укорочения. Для этого не требовалось модернизации существующей на предприятии размольной линии, нужны были только ее настройка определенным образом (путем регулировки зазора между ножевыми дисками) и смена ножевой гарнитуры [15].

Что касается применения химической технологии в производстве тарного картона для пищевой упаковки, то основной нашей стратегией было максимальное использование комбинаций отечественных реагентов, где это возможно. Причем импортозамещение не должно было привести к снижению качества продукции — наоборот, качество должно было возрасти. Это обусловлено тем, что поставляемые на европейский рынок реагенты для бумажной промышленности имеют в основном синтетическое происхождение, а следовательно, не всегда высокое сродство к компонентам древесины. Кроме того, качество этих реагентов постоянно падает, хотя и 15 лет назад (в 2002 г.) особо высоким качеством они не отличались даже по сравнению с отечественными аналогами. Модифицированные природные реагенты в этом отношении намного более эффективны, и опыт мировых лидеров бумажного производства, США и Канады, это доказывает. Опыт же европейских и азиатских производителей бумаги, идущих по заведомо неверному пути, доказывает обратное — низкое качество производимых ими бумаги и картона [18–20].

Наши испытания продемонстрировали, что грамотное использование комбинации реагентов позволяет повысить прочность картона в сухом состоянии до 30 % (средняя результирующая по всем рассмотренным показателям). Прочность во влажном состоянии необходимо было повысить с 2...4 % для обычного картона до 50 % и более для картона — основы пищевой

упаковки. Если в первом случае вопрос решался достаточно просто, то во втором случае на начальных стадиях исследования достижение необходимых значений влагопрочности не обошлось без использования реагентов зарубежного производства. Лишь спустя несколько лет мы начали разрабатывать собственные относительно дешевые, эффективные и экологически безопасные аналоги [21].

Для повышения прочности картона в сухом состоянии главным нашим шагом стал полный и решительный отказ от использования для этих целей катионных крахмалов как дорогостоящих реагентов, которые в условиях российских бумажных фабрик серьезно подвержены биологической порче. Они даже в идеальных лабораторных условиях не дают необходимого прироста прочности и к тому же производятся либо полностью за рубежом, либо в России, но из 100%-ного зарубежного сырья. К тому же цена, установленная фирмами-производителями на эти крахмалы, не вполне адекватна, с учетом их высокого расхода (8...10 кг/т бумаги и более) [6].

Взамен этого нами была разработана и запатентована технология упрочнения темных сортов бумаги и картона на основе теоретических положений о прочности древесины, согласно которым связующим веществом между целлюлозными волокнами древесины выступает лигнин. Однако известно, что при переработке волокна древесной массы, из которой лигнин не извлечен, теряются все его положительные свойства и сам лигнин выступает вредным балластом, оказывая отрицательное действие на прочность и долговечность волокна и снижая все показатели, как прочностные, так и эстетические, продуктов из этой волокнистой массы. Идея состояла в том, чтобы вернуть лигнину его положительные свойства, для чего из волокна его необходимо сначала извлечь, а потом в процессе изготовления бумажного листа вернуть обратно, но уже в другом виде, частично воссоздав его структуру. Такая идея возникла и раньше, в СССР предпринимались попытки ее осуществить, но закончились ничем: авторы тех исследований не понимали, что заставить вступить фрагментированный растворимый лигнин в реакцию с таким инертным материалом, как целлюлоза, в условиях бумажного производства практически невозможно. Поэтому данные исследования получили в свое время большое количество негативных отзывов, особенно со стороны технологов-практиков бумажных фабрик, на которых из-за таких «внедрений» технология была полностью нарушена, а план выработки бумаги срывался. Несмотря на неудачные промышленные испытания, этот способ был все-таки запатентован [21].

Выполненная нами тщательная проверка вышеуказанного способа, начиная с пробирочных испытаний и заканчивая получением контрольных образцов бумаги, показала, что способ действительно не работает. Суть его в том, что в советскую «классическую» схему реагентов вводят дополнительно фрагментированный растворимый лигнин в виде лигносульфонатов. А ведь еще С.Н. Иванов и Д.М. Фляте в своих классических монографиях указывали, что в данных условиях лигносульфонаты выступают в виде своеобразного «яда» для бумажной массы, и подчеркивали необходимость максимального избавления от них [8, 22].

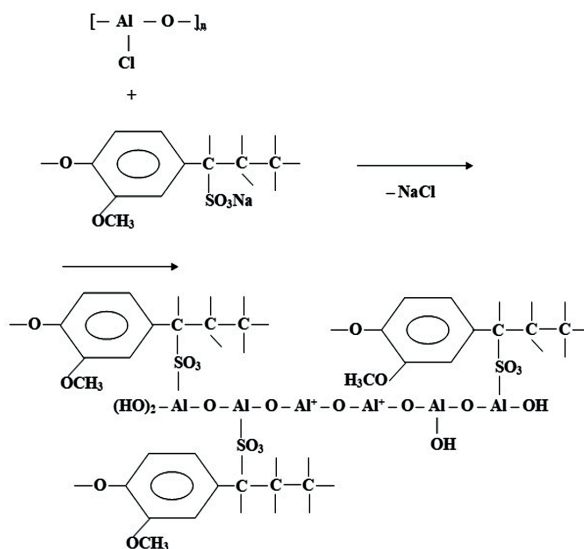
Для структурирования лигносульфонатов на волокнах целлюлозы, чтобы получаемый целлюлозный материал приобрел желаемые прочностные показатели, необходимо применять специальные катализаторы. Классическими катализаторами в данном случае являются соединения комплексообразующих металлов, наиболее известные из них — катализаторы Циглера — Натта, использование которых в реакциях полимерного синтеза, протекающих даже при нормальных условиях, описано в работах академика В.В. Коршака. Некоторые из этих соединений переходных металлов являются активными катализаторами, т. е. помимо ускорения реакции и смещения химического равновесия в сторону образования продуктов сами выступают в качестве реагентов, встраиваясь в структуру образующихся полимеров. К сожалению, в настоящее время данные разработки, выполненные в основном в МХТИ (РХТУ) им. Д.И. Менделеева и ИНЭОС им. А.Н. Несмеянова, оказались большей частью забытыми, а в производстве бумаги они вообще не применялись — даже такой дорогостоящей бумаги, как основа для декоративного пластика, где наполнителем является диоксид титана. В советское время не поднимался вопрос о коренной модификации этой технологии, в частности, о переводе диоксида титана, являющегося пассивным наполнителем, в активную форму в виде, например, хлорида с последующим образованием полимерных гидроксокомплексов, основной которых будет все тот же диоксид титана, но выступающий теперь уже в виде активного нанонаполнителя-катализатора. Хотя подобные разработки в СССР имелись, но касались они в основном вопросов придания бумаге огнестойкости и в открытой печати не публиковались.

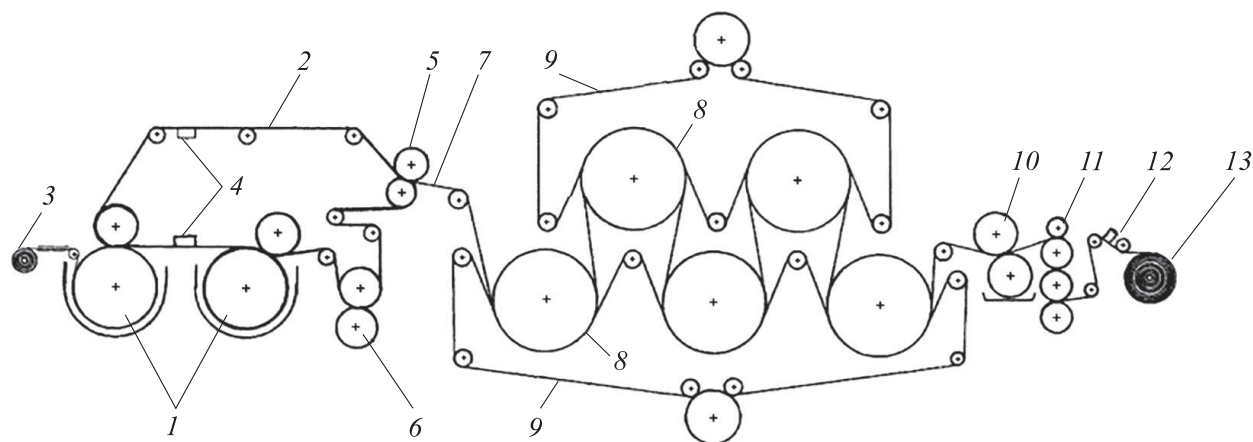
Над созданием активных коагулянтов — катализаторов-наполнителей на базе полимерных гидроксокомплексов алюминия применительно к технологии бумаги в 1950–1960-е гг. активно работал С.Н. Иванов, но завершению работы помешала ранняя смерть ученого. По воспоминаниям доцента МГУЛ В.Л. Козловой, его бывшей

студентки, это был существенный удар по науке в Лесотехнической академии (Ленинград): там все больше стали превалировать узкоприкладные задачи в ущерб фундаментальным вопросам.

Однако идея использования полимерных растворимых гидроксокомплексов алюминия не была забыта. После ряда неудачных попыток скопировать американский гидроксихлорид алюминия в России был наконец создан собственный продукт с похожими свойствами, но более удобный для производства, так и для применения в условиях российских фабрик — полиоксихлорид алюминия (ПОХА). От американского аналога он отличается более высоким содержанием ионов хлора. Изначально ПОХА разрабатывался и применялся для очистки воды. Его интересные свойства были обнаружены авторами, ими же этот реагент впервые в России был внедрен в технологию производства бумаги. Была разработана и запатентована технология структурирования лигнина из лигносульфонатов, где сшивающим агентом и впоследствии катализатором выступает ПОХА [21].

Лигносульфонаты вступают с полиоксихлоридом алюминия в обменную реакцию, в результате чего образуется алюмосодержащее высокомолекулярное соединение (полиоксилигносульфонат алюминия), макромолекулы которого имеют ярко выраженный положительный заряд и способны эффективно осаждаться и закрепляться на отрицательно заряженном целлюлозном волокне. При формовании целлюлозного материала полиоксилигносульфонат алюминия способствует лучшему образованию связей между целлюлозными волокнами, удержанию мелкого волокна и наполнителя в полотне целлюлозосодержащего материала, повышению прочностных и гидрофобных характеристик материала. Образование полиоксилигносульфоната алюминия можно представить в виде следующей схемы:





**Рис. 1.** Схема круглосеточной бумагоделательной машины КДМ, на которой изготовлены пробные образцы коробочного картона: 1 — сеточный цилиндр; 2 — съемное сукно; 3 — катушка с защитной нитью; 4 — отсасывающий ящик; 5 — гауч-вал; 6 — сукномойка; 7 — отсечка; 8 — сукно; 9 — сушильный цилиндр; 10 — клеильный пресс; 11 — машинный каландр; 12 — датчик контроля качества; 13 — накат

**Fig. 1.** Scheme of the PCM paper-making machine, on which test samples of boxboard are made: 1 — mesh cylinder; 2 — removable cloth; 3 — coil with a protective thread; 4 — the suction box; 5 — gauze-shaft; 6 — cloth sewing; 7 — cutoff; 8 — cloth; 9 — drying cylinder; 10 — gluing press; 11 — machine calender; 12 — quality control sensor; 13 — rolling

В дальнейшем, когда образующийся комплекс осаждается на целлюлозном волокне, на стадии сушки при температуре до 120 °С происходит его взаимодействие с компонентами целлюлозного волокна, скорее всего с гемицеллюлозами. О том, что некоторые образующиеся связи являются ковалентными, говорит повышение влагостойкости материала с 3 до 16 %. Механическая прочность сухого материала (на примере вышеуказанного картона для пищевой упаковки) возрастает в среднем на 30 % при расходе лигносульфонатов 15 кг/т и ПОХА до 40 кг/т. На 50 % возрастает гидрофобность. Из химии древесины известно, что гидрофобность древесине придает именно содержащийся в ней лигнин, и здесь нам частично удалось воспроизвести это его природное свойство. До необходимого значения гидрофобность можно довести путем использования канифоли — либо в виде натриевых солей модифицированных смоляных кислот, например резинатов натрия, выпускаемых до сих пор в Белоруссии, либо, что более перспективно, путем применения канифольной дисперсии собственной разработки с содержанием 100 % дисперсных свободных смоляных кислот. Для внутренних слоев коробочного картона нет смысла доводить гидрофобность до высоких значений при условии, что внутренние слои представлены в основном волокнисто-минеральными отходами, а внешние слои достаточно устойчивы и изготовлены из хорошо разработанного механически волокна. Но в России фактически нет волокнисто-минеральных отходов переработки макулатуры, это понятие применимо исключительно к Европе. Внутренние слои отечественного коробочного картона мы также рекомендуем гидрофобизировать, что исключит вероятность ошибки или брака на ли-

нии подготовки массы для разных слоев и выхода некондиционной продукции, которая «протечет» при упаковке в нее, например, охлажденного мяса.

В ряде случаев возможно использование для этих целей добавок нанодиспергированной целлюлозы [20, 23].

Активное физико-механическое воздействие на компоненты бумажных рецептов позволяет проводить целенаправленное структурирование получаемой продукции [24–26].

На рис. 1 и 2 приводятся некоторые данные по исследованию процесса гидрофобизации и механических свойств разрабатываемого авторами опытного образца коробочного картона для пищевой упаковки.

В целях исследования влияния ПОХА («Аква-Аурата») на процесс изготовления и свойства коробочного картона проведена серия опытов по изготовлению лабораторных образцов этого картона. Для изготовления многослойного коробочного картона марки «В» по ТУ 13-0281020-99-90, масса 200 г/м<sup>2</sup>, кроме смеси макулатуры марок МС-6 и МС-7 для внутреннего слоя, использовались следующие волокнистые полуфабрикаты:

- сульфатная (СФА) беленая целлюлоза из хвойных пород древесины по ГОСТ 9571–89;
- сульфатная беленая целлюлоза из лиственных пород древесины по ГОСТ 14940–85.

Употребляли целлюлозу производства Архангельского ЦБК [7].

В качестве наполнителя для верхнего слоя использовался мел природный тонкодисперсный для бумажной промышленности по ТУ 21-16232-01–91, марки МПНБ-2. Содержание наполнителя в верхнем слое — 10 %.

Структура коробочного картона показана на рис. 2.

25 г/м <sup>2</sup> Целлюлоза сульфатная беленая (50 % листв. + 50 % хвойн.); наполнитель – мел, содержание – 10 %
150 г/м <sup>2</sup> Макулатура (смесь марок МС-6 и МС-7)
25 г/м <sup>2</sup> Целлюлоза сульфатная беленая (50 % листв. + 50 % хвойн.); наполнитель – мел, содержание – 10 %

Рис. 2. Структура коробочного картона  
Fig. 2. Structure of boxboard

Порядок составления композиции волокнистой массы для каждого слоя был следующий.

Внутренний слой (150 г/м<sup>2</sup>):

1) макулатура (смесь марок МС-6 и МС-7), степень помола 21 °ШР;

2) лигносульфонаты — 10 кг/т;

3) «Аква-Аурат–18» — 30 кг/т;

pH = 6,9...7,1.

Наружные слои (25 г/м<sup>2</sup> каждый):

1) целлюлоза СФА хвойная беленая — степень помола 30 °ШР;

2) целлюлоза СФА лиственная беленая — степень помола 32 °ШР;

3) мел (с избытком около 20 % с учетом неполного удержания);

4) Na-КМЦ — 3 кг/т;

5) Новый гидрофобизирующий состав — 4 кг/т;

6) «Аква-Аурат» — 50 кг/т;

7) анионный полиакриламид (ПАА-А) — 0,1 кг/т;

pH = 6,3...6,5.

В качестве сравнительного варианта были изготовлены аналогичные образцы коробочного картона с использованием дорогостоящих компонентов зарубежного производства. Порядок составления композиции слоев для этих образцов был следующий.

Внутренний слой (150 г/м<sup>2</sup>):

1) макулатура (смесь марок МС-6 и МС-7) — степень помола 21 °ШР;

2) катионный крахмал MYLBOND 143 — 5 кг/т;

3) ПАА-К (Polimin, производство BASF) — 0,1 кг/т;

pH формования = 7,7...7,9.

Наружные слои (25 г/м<sup>2</sup> каждый):

1) целлюлоза СФА хвойная беленая, степень помола 30 °ШР;

2) целлюлоза СФА лиственная беленая, степень помола 32 °ШР;

3) мел (с избытком около 20 % , с учетом неполного удержания);

4) катионный крахмал MYLBOND 143 — 8 кг/т;

5) модифицированный полиэтиленимин (Katiofast производства BASF, Германия) — 3 кг/т по товарному раствору;

6) гидрофобизирующий состав на основе ДАК концентрацией 17 % по с.в. (Basoplast, BASF) — 1,7 кг/т по с.в.;

7) деаэратор (Afranil, BASF) — 0,1 кг/т по с.в., 0,3 кг/т по товарному раствору.

8) ПАА-К (Polimin, BASF) — 0,1 кг/т.

pH формования = 7,9...8,1.

Гидрофобность картона определялась по стандартной методике методом Кобб<sub>60</sub>. Результаты испытаний приведены в табл. 1.

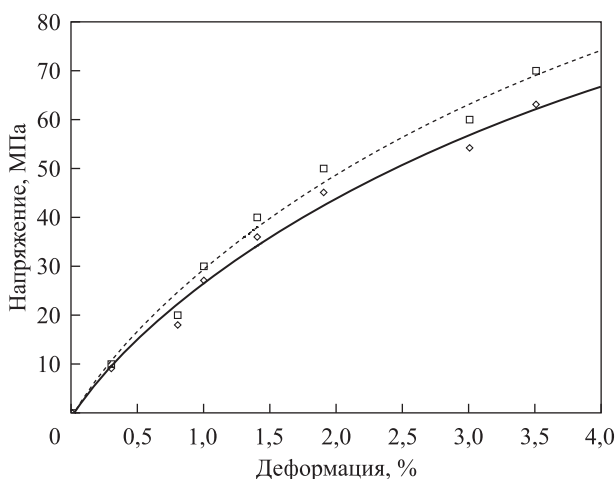
Приведенные в табл. 1 данные свидетельствуют о том, что по гидрофобным свойствам опытный коробочный картон практически не уступает картону, изготовленному с использованием «высокой» технологии. Причем необходимые гидрофобные свойства опытного картона были достигнуты сразу после изготовления его образцов (вариант 1), в то время как в сравнительном варианте гидрофобные свойства картона сразу после его изготовления были чрезвычайно низкими (вариант 3) и достигались только после сушки образцов. Это связано с относительно невысокой скоростью реакции димеров алкилкетенов, используемых в импортном гидрофобизирующем составе, с целлюлозой, что является его существенным недостатком.

Т а б л и ц а 1

**Результаты испытаний гидрофобности  
коробочного картона**  
Results of hydrophobicity testing  
of boxboard

Вариант	Поверхностная впитываемость по Кобб <sub>60</sub> , г/м <sup>2</sup>					Среднее значение
	Серия образцов					
	I	II	III	IV	V	
1. Опытный (сразу после изготовления образцов)	36	35	38	31	37	36
2. Опытный (после сушки в течение 10 мин при 110 °С)	32	31	30	33	31	32
3. Сравнительный (сразу после изготовления образцов)	220	230	220	210	220	220
4. Сравнительный (после сушки в течение 10 мин при 110 °С)	34	36	35	36	34	35





**Рис. 3.** Зависимость деформации от напряжения для коробочного картона: ——— опытный образец; ..... образец сравнения

**Fig. 3.** Dependence of strain on stress for boxboard: ——— prototype; ..... reference sample

Т а б л и ц а 2

**Физико-механические свойства  
коробочного картона  
Physical and mechanical properties  
of boxboard**

Показатель и единица измерения	Опытный образец	Образец сравнения
Торцевое сжатие вдоль плоскости, Н/м	3,4	3,5
Жесткость при изгибе, мН/см <sup>2</sup>	850	900
Жесткость при растяжении, Н/м	530	570
Абсолютное сопротивление продавливанию, кПа	790	745
Разрывная длина, м	7800	7600
Трещиностойкость (относительная), кДж · (м/кг)	15,2	15,1

Образцы коробочного картона с целью исследования их физико-механических свойств были подвергнуты испытаниям, предусмотренным существующим стандартом на данный вид материала. На рис. 3 представлена зависимость деформация — напряжение для опытного и сравнительного вариантов.

Как видно из графика зависимости, для опытных образцов картона деформационные свойства несколько более выражены, хотя в обоих случаях результаты различаются незначительно.

Другие физико-механические свойства коробочного картона приведены в табл. 2.

Анализируя данные таблицы 2, можно видеть, что опытный и сравнительный образцы коробочного картона имеют достаточно высокие и не слишком различающиеся физико-механические показатели. Сравнительный образец имеет более высокие показатели жесткости, а опытный образец — более высокие показатели сопротивления продавливанию и разрывной длины.

**Выводы**

Рассматривая вопросы создания высококачественной пищевой упаковки из вторичных целлюлозных материалов, можно заключить, что использование существующего оборудования российских бумажных фабрик позволяет выпускать коробочный картон для пищевой упаковки, ничем не уступающий импортным аналогам, а по некоторым показателям даже превосходящий их.

Сегодня реально открывается возможность многотоннажной переработки отходов использования макулатуры.

Химическая технология производства коробочного картона для пищевой упаковки позволяет практически на 100 % использовать реагенты отечественного производства и полностью отказаться от продукции зарубежных химических концернов.

Исследования в области разработки технологии производства дешевого, высококачественного и экологически безопасного коробочного картона для пищевой упаковки в настоящее время продолжают в Московском государственном университете леса (ныне Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана). Получены новые полимерные связующие и их комбинации, усовершенствована технология придания картону гидрофобности.

**Список литературы**

- [1] Matthews S., Tanninen P., Toghyani A., Eskelinen H., Varris J. Novel method for selection of drive motor in paperboard forming press utilizing multi-dynamics model based on material thickness // *Process Manufacturing*, 2017, v. 11, no. 10, pp. 2091–2098.
- [2] Lee K.T. Quality and safety aspects of meat products as affected by various physical manipulations of packaging materials // *Meat Science*, 2010, v. 86, no. 1, pp. 138–150.
- [3] Höke U. *Papermaking Science and Technology. Book 7: Recycled Fiber and Deinking*. Darmstadt: TAPPI Press, 1998, 649 p.
- [4] Yeu C.S., Leong K.C., Tong L.C., Hang S., Subhan M. A comparative study on international marketing mix in China and India: The case of McDonald's // *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 2012, v. 65, no. 12, pp. 1054–1059.
- [5] Bufalo G., Florio C., Cinelli G., Lopez F., Ambrosone L. Principles of minimal wrecking and maximum separation of solid waste to innovate tanning industries and reduce their environmental impact. The case of paperboard manufacture // *J. Cleaner Production*, 2018, v. 174, no. 2, pp. 324–332.

- [6] Иванкин А.Н., Неклюдов А.Д., Тарасов С.М., Жилин Ю.Н. Переработка органических отходов: учеб. пособие. М.: МГУЛ, 2016. 400 с.
- [7] Тарасов С.М., Ковернинский И.Н., Дулькин Д.А. Опытнo-промышленные испытания «Аква-Аурата» // Науч. тр. 5-й Междунар. науч.-техн. конф., май 2004 г., Каравасво – Правдинский. Каравасво: ОАО «КАРАВА-ЕВО», 2004. С. 17–19.
- [8] Иванов С.Н. Технология бумаги. М.: Школа бумаги, 2006. 520 с.
- [9] Ramos M., Valdés A., Mellinas A.C., Garrigós M.C. New trends in beverage packaging systems. Review // Beverages, 2015, no. 1. pp. 248–272.
- [10] Singh J., Cooper T. Towards a sustainable business model for plastic shopping bag management in Sweden // Procedia CIRP, 2017, v. 61, no. 5, pp. 679–684.
- [11] Tarrés Q., Pellicer N., Balea A., Merayo N., Mutjé P. Lignocellulosic micro nanofibers from wood sawdust applied to recycled fibers for the production of paper bags // Int. J. Biological Macromolecules, 2017, v. 105, part 1, pp. 664–670.
- [12] Тарасов С.М., Азаров В.И., Ковернинский И.Н. Роль новых химических вспомогательных средств в современной технологии бумаги и картона // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2004. № 1. С. 87–91.
- [13] Selke S.E.M. Recycling of Paper Products. Encyclopedia. Reference module in materials science and materials engineering. London: Elsevier, 2016. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128035818036511>
- [14] Wagner T.P. Reducing single-use plastic shopping bags in the USA // Waste Management, 2017, v. 70, no. 1, pp. 3–12.
- [15] Тарасов С.М., Азаров В.И., Ковернинский И.Н. Современные тенденции в развитии технологии производства бумаги и картона // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2003. № 5. С. 89–92.
- [16] Способ изготовления целлюлозосодержащих материалов. Пат. 2237768 Российская Федерация. / С.М. Тарасов, В.И. Азаров, И.Н. Ковернинский. Заявл. 12.08.2003, опубл. 10.10.2004, бюл. № 28.
- [17] Linvill E., Wallmeier M., Östlund S. A constitutive model for paperboard including wrinkle prediction and post-wrinkle behavior applied to deep drawing // Int. J. Solids and Structures, 2017, v. 117, no. 1, pp. 143–158.
- [18] Tarrés Q., Pèlach M.A., Alcalà M., Delgado-Aguilar M. Cardboard boxes as raw material for high-performance papers through the implementation of alternative technologies. More than closing the loop // J. Industrial and Engineering Chemistry, 2017, v. 54, no. 1, pp. 52–58.
- [19] Yuan X., Cao Y., Li J., Wen B., Cui Z. Effect of pretreatment by a microbial consortium on methane production of waste paper and cardboard // Biores. Technol., 2012, v. 118, no. 8, pp. 281–288.
- [20] Tarrés Q., Oliver-Ortega H., Alcalà M., Merayo N., Delgado-Aguilar M. Combined effect of sodium carboxymethyl cellulose, cellulose nano fibers and drainage aids in recycled paper production process // Carbohydrate Polymers, 2018, v. 183, no. 3, pp. 201–206.
- [21] Способ получения волокнистой массы для изготовления газетной бумаги. Пат. 2019615 Российская Федерация. А.А. Комиссаренков, Л.Л. Парамонова, А.В. Васильев. Заявл. 17.01.1992, опубл. 15.09.1994, бюл. № 27/2000.
- [22] Фляте Д.М. Технология бумаги. М.: Лесная пром-сть, 1988. 440 с.
- [23] Прошина О.П., Олиференко Г.Л., Евдокимов Ю.М., Иванкин А.Н. Наноцеллюлоза и получение бумаги на ее основе // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. 2012. № 7 (90). С. 112–114
- [24] Brodnjak U.V. Influence of ultrasonic treatment on properties of bio-based coated paper // Progress in Organic Coatings, 2017, v. 103, pp. 93–100.
- [25] Muthu S.S. LCA of cotton shopping bags. Handbook of life cycle assessment (LCA) of textiles and clothing. London: Elsevier Ltd., 2015, pp. 283–299.
- [26] Муллина Э.Р., Мишурина О.А., Нигматуллина Л.И., Ишкватова А.Р. Влияние процесса вторичной переработки макулатуры на бумагообразующие свойства целлюлозного сырья // Междунар. ж. прикладных и фундаментальных исследований, 2015. № 4 (ч. 1). С. 32–34.

## Сведения об авторах

**Тарасов Сергей Михайлович** — канд. техн. наук, доцент кафедры химии МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), [smtarasoff@mail.ru](mailto:smtarasoff@mail.ru)

**Иванкин Андрей Николаевич** — д-р хим. наук, академик Международной академии наук высшей школы, профессор кафедры химии МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), [aivankin@inbox.ru](mailto:aivankin@inbox.ru)

**Грачева Ирина Владимировна** — студентка МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), [irena.magic@yandex.ru](mailto:irena.magic@yandex.ru)

**Леонтьев Павел Константинович** — студент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), [pashe11@yandex.ru](mailto:pashe11@yandex.ru)

Принята к публикации 12.10.2017.

Поступила в редакцию 24.11.2017.

## CONCEPT OF HIGH-QUALITY FOOD PACKAGING CREATION FROM RECYCLED MATERIALS

S.M. Tarasov, A.N. Ivankin, I.V. Gracheva, P.K. Leont'ev

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

smtarasoff@mail.ru

A detailed analysis of secondary fibrous raw materials processing in Russia and abroad was carried out. Issues of wastes recycling in production process and possible ways of their solution are being raised. It is concluded that the production of moisture-proof food packaging, mainly boxboard, is one of the most effective methods of combating the accumulation of waste in paper mills. The possibility of wide use of fibrous-mineral wastes of recycling of waste paper in the composition of boxboard is shown. It is said about the need to revive the production and use of cardboard machines, now universally and unreasonably replaced by standardized machines of two-part molding. It is argued that a competent combination of the use of mechanical methods of processing plant fibers with modern achievements in chemical technology of paper production will allow producing high-quality, cheap and environmentally friendly boxboard for food packaging. Original chemical technologies are given, allowing to follow different ways in the production of boxboard, depending on its specific purpose. It is claimed that the new resource-saving technology will allow producing food packaging with full import substitution, with the exception of the dependence of Russian paper mills on international chemical concerns. It is shown that the use of this technology will also be useful in European paper production, where the accumulation and utilization of paper mill waste is a significant problem. A conclusion is made about the prospects for the development of the proposed technologies in the future.

**Keywords:** food paper cardboard packaging, environmentally friendly cardboard

**Suggested citation:** Tarasov S.M., Ivankin A.N., Gracheva I.V., Leont'ev P.K. *Kontsepsiya sozdaniya vysokokachestvennoy pishchevoy upakovki iz vtorichnykh tsellyuloznykh materialov* [Concept of high-quality food packaging creation from recycled materials] // *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 2, pp. 104–116. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-2-104-116

### References

- [1] Matthews S., Tanninen P., Toghyani A., Eskelinen H., Varis J. Novel method for selection of a motor in a paperboard forming a multi-dynamics model based on material thickness. *Process Manufacturing*, 2017, v. 11, no. 10, pp. 2091–2098.
- [2] Lee K.T. Quality and safety aspects of meat products as affected by various physical manipulations of packaging materials. *Meat Science*, 2010, v. 86, no. 1, pp. 138–150.
- [3] Höke U. *Papermaking Science and Technology. Book 7. Recycled Fiber and Deinking*. Darmstadt: TAPPI Press, 1998, 649 p.
- [4] Yeu C.S., Leong K.C., Tong L.C., Hang S., Subhan M. A comparative study on international marketing mix in China and India: The case of McDonald's. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 2012, v. 65, no. 12, pp. 1054–1059.
- [5] Bufalo G., Florio C., Cinelli G., Lopez F., Ambrosone L. Principles of the minimum wrecking and total of the division of solid waste to innovate tanning industries and reduce their environ mental impact. The case of paperboard manufacture. *J. Cleaner Production*, 2018, v. 174, no. 2, pp. 324–332.
- [6] Ivankin A.N., Neklyudov A.D., Tarasov S.M., Zhilin Yu.N. *Pererabotka organicheskikh otkhodov* [Processing of organic waste]. Moscow: MGUL Publ., 2016, 400 p.
- [7] Tarasov S.M., Koverninski I.N., Dul'kin D.A. *Opytno-promyshlennyye ispytaniya «Akva-Aurata»*. [Experimental-industrial tests of the «Aqua-Aurat»]. *Nauchnye trudy 5-y Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii* [Scientific Works of the 5th International Scientific and Technical Conference]. May 2004, Karavaevo – Pravdinski, 2004, pp. 17–19.
- [8] Ivanov S.N. *Tekhnologiya bumagi* [Technology of paper]. Moscow: School of Paper, 2006, 520 pp.
- [9] Ramos M., Valdés A., Mellinas A.C., Garrigós M.C. New trends in beverage packaging systems. *Review. Beverages*, 2015, no. 1, pp. 248–272.
- [10] Singh J., Cooper T. Towards a sustainable business model for plastic shopping bag management in Sweden. *Procedia CIRP*, 2017, v. 61, no. 5, pp. 679–684.
- [11] Tarrés Q., Pellicer N., Balea A., Merayo N., Mutjé P. Lignocellulosic micro nanofibers from wood sawdust applied fibers for the production of paper bags. *Int. J. Biological Macromolecules*, 2017, v. 105, part 1, pp. 664–670.
- [12] Tarasov S.M., Azarov V.I., Koverninskiy I.N. *Rol' novykh khimicheskikh vspomogatel'nykh sredstv v sovremennoy tekhnologii bumagi i kartona* [The role of new chemical auxiliaries in modern paper and paperboard technology]. *Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoy vestnik*, 2004, no. 1, pp. 87–91.
- [13] Selke S.E.M. *Recycling of Paper Products*. Encyclopedia. Reference module in materials science and materials engineering. London: Elsevier, 2016. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128035818036511>
- [14] Wagner T.P. Reducing single use plastic shopping bags in the USA. *Waste Management*, 2017, v. 70, no. 1, pp. 3–12.
- [15] Tarasov S.M., Azarov V.I., Koverninski I.N. *Sovremennyye tendentsii v razviti tekhnologii proizvodstva bumagi i kartona* [Modern trends in the development of technology for the production of paper and paperboard]. *Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoy vestnik*, 2003, no. 5, pp. 89–92.
- [16] Tarasov S.M., Azarov V.I., Koverninski I.N. *Sposob izgotovleniya tselliulozosoderzhashchikh materialov* [Method of manufacturing cellulose-containing materials]. Patent RU 2237768. Appl. 12.08.2003, publ. 10.10.2004, bul. no. 28.
- [17] Linvill E., Wallmeier M., Östlund S. A constitutive model for paperboard including wrinkle prediction and post-wrinkle behavior applied to deep drawing. *Int. J. Solids and Structures*, 2017, v. 117, no. 1, pp. 143–158.

- [18] Tarrés Q., Pèlach M.A., Alcalà M., Delgado-Aguilar M. Cardboard boxes as raw material for high-performance papers through the implementation of alternative technologies. More than closing the loop. *J. Industrial and Engineering Chemistry*, 2017, v. 54, no. 1, pp. 52–58.
- [19] Yuan X., Cao Y., Li J., Wen B., Cui Z. Effect of pretreatment by a microbial consortium on methaneproduction of waste paper and cardboard. *Bioresource Technology*, 2012, v. 118, no. 8, pp. 281–288.
- [20] Tarrés Q., Oliver-Ortega H., Alcalà M., Merayo N., Delgado-Aguilar M. Combined effect of sodium carboxymethyl cellulose, cellulose nano fibers and drainage aids in recycled paper production process. *Carbohydrate Polymers*, 2018, v. 183, no. 3, pp. 201–206.
- [21] Komissarenkov A.A., Paramonova L.L., Vasiliev A.V. *Sposob polucheniya voloknistoy massy dlia izgotovleniya gazetnoy bumagi* [A method for obtaining fiber-weights for the production of newsprint]. Patent RU 2019615, appl. 17.01.1992, publ. 15.09.1994, bul. no. 27/2000.
- [22] Flyate D.M. *Tekhnologiya bumagi* [Technology of paper]. Moscow: Lesnaya prom-st' [Forest Industry] Publ., 1988, 440 p.
- [23] Proshina O.P., Oliferenko G.L., Evdokimov Yu.M., Ivankin A.N. *Nanotselliuloza i poluchenie bumagi na ee osnove* [Nanocellulose and the production of paper on its basis]. *Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoy vestnik*, 2012, no. 7 (90), pp. 112–114.
- [24] Brodnjak U.V. Influence of ultrasonic treatment on properties of bio based coated paper. *Progress in Organic Coatings*, 2017, v. 103, pp. 93–100.
- [25] Muthu S.S. LCA of cotton shopping bags. *Handbook of life cycle assessment (LCA) of textiles and clothing*. London: Elsevier Ltd., 2015, pp. 283–299.
- [26] Mullina E.R., Mishurina O.A., Nigmatullina, L.I. Ishkuvatova A.R. *Vliyanie protsessa vtorichnoy pererabotki makulatury na bumagoobrazuiushchie svoystva tsellyuloznogo syr'ia* [Influence of the recycling process of waste paper on the paper-forming properties of cellulose raw materials]. *Int. J. Applied and Fundamental Research*, 2015, no. 4 (part 1), pp. 32–34.

## Authors' information

**Tarasov Sergey Mikhaylovich** — Cand. Sci. (Tech), Associate Professor of Department of Chemistry of BMSTU (Mytishchi branch), smtarasoff@mail.ru

**Ivankin Andrey Nikolaevich** — Academician of International Academy of Higher School Sciences, Dr. Sci. (Chem.), Professor of Department of Chemistry of BMSTU (Mytishchi branch), aivankin@inbox.ru

**Gracheva Irina Vladimirovna** — student of BMSTU (Mytishchi branch), irena.magic@yandex.ru

**Leont'ev Pavel Konstantinovich** — student of BMSTU (Mytishchi branch), pashe11@yandex.ru

Received 12.10.2017.

Accepted for publication 24.11.2017.



## РАЗРАБОТКА МОНОЛИТНЫХ ТРЕХСЛОЙНЫХ СТЕНОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫМ СЛОЕМ ИЗ ДРЕВЕСНО-ЦЕМЕНТНОГО МАТЕРИАЛА

**В.И. Запруднов, С.П. Карпачёв**

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

Рассмотрены вопросы разработки оптимальных конструктивных решений и способов отделки трехслойных конструкций с теплоизоляционным слоем из древесно-цементного материала для возведения малоэтажных зданий с несущими монолитными стенами. Предложены конструктивные решения трехслойных конструкций, которые наряду с общими требованиями, предъявляемыми к наружным стенам строительными нормами, должны обеспечить: восприятие стенами в период возведения (до набора древесно-цементным материалом прочности) части вертикальных и горизонтальных нагрузок от собственной массы конструкции; технологичность возведения конструкций, характеризующую минимальными трудовыми ресурсами; создание выразительного архитектурного вида здания. Разработка трехслойных конструкций с монолитной связью слоев проводилась также в соответствии с экономически целесообразным термическим сопротивлением теплопередаче конструкций, определенным по теплотехническому расчету для стеновых ограждений. Разработанная технология строительства жилых домов со сборно-монолитными стенами трехслойной конструкции предусматривает их изготовление в полигонных условиях и установку в проектное положение крупногабаритных стеновых панелей с обязательным креплением между собой металлическими элементами на сварке.

**Ключевые слова:** древесно-цементные материалы, малоэтажное строительство, монолитные трехслойные конструкции

**Ссылка для цитирования:** Запруднов В.И., Карпачёв С.П. Разработка монолитных трехслойных стеновых конструкций с теплоизоляционным слоем из древесно-цементного материала // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 2. С. 117–119. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-2-117-119

**Р**азвитие принципиального нового направления применения древесно-цементных материалов — малоэтажного строительства из монолитных трехслойных конструкций с теплоизоляционными древесно-цементными слоями и наружными слоями из конструкционных бетонов — потребовало в процессе организации массового производства решения ряда научных и технических вопросов по повышению несущей способности стен, перекрытий, определению их прочностных и деформационных свойств, а также разработки специальных технологических приемов возведения монолитных стеновых конструкций [1–5]. Древесные материалы получают в результате лесозаготовок и деревообработки [6].

### Цель работы

Для возведения малоэтажных зданий с несущими трехслойными монолитными стенами необходимо разработать их оптимальные конструктивные решения и способ отделки. Наряду с общими требованиями, предъявляемыми к наружным стенам строительными нормами, конструктивные решения должны обеспечить:

- восприятие стенами в период возведения (до набора древесно-цементным материалом прочности) части вертикальных и горизонтальных нагрузок от собственной массы конструкции;
- технологичность возведения конструкций, характеризующую минимальными трудовыми ресурсами;

– создание выразительного архитектурного вида здания.

Проведенные авторами исследования прочностных и деформационных свойств трехслойных стеновых панелей и панелей-перемычек позволяют дать некоторые общие рекомендации по конструктивному решению панелей для проектирования и строительства [1, 3, 7–9].

Результаты данных исследований использованы при строительстве сборно-монолитных стен жилых домов в г. Тимашевске Краснодарского края.

### Материалы и методы исследования

Исходными данными при разработке проекта жилого дома были рабочие чертежи несущих и ограждающих стеновых конструкций с монолитной связью слоев одноэтажного двухквартирного жилого дома с трехкомнатными квартирами по типовому проекту 183-195, разработанному институтом «Крайколхозпроект». Рабочие чертежи несущих и ограждающих стеновых конструкций с монолитной связью слоев изготовлены на основе схем конструктивного решения стеновых панелей, разработанных в Мытищинском филиале МГТУ им. Н.Э. Баумана [3]. Исследования [3, 5] также подтвердили целесообразность применения монолитных несущих стен из древесно-цементных материалов трехслойной конструкции.

Разработка трехслойных конструкций с монолитной связью слоев проводилась в соответствии с экономически целесообразным термическим сопротивлением теплопередаче конструкций, определенным по теплотехническому расчету для стеновых ограждений. Слой теплоизоляционного древесно-цементного материала в наружных стенах имеет толщину 160 мм и с двух сторон защищен слоями тяжелого бетона. Со стороны, обращенной внутрь помещения, толщина бетонного слоя составляет 100 мм, а с наружной стороны стеновая конструкция защищена от атмосферных увлажнений слоем бетона толщиной 40 мм. Внутренняя несущая стена представляет собой слой древесно-цементного материала, защищенный с двух сторон слоями тяжелого бетона толщиной по 50 мм. Общая толщина внутренней стены — 200 мм [3, 10, 11].

Теплоизоляционный слой древесно-цементного материала в стеновых конструкциях выполняется средней плотностью до  $500 \text{ кг/м}^3$  и классом по прочности В0,35–В1. Внутренний несущий слой выполняется из бетона класса В15 с плотностью  $2400 \text{ кг/м}^3$ , наружный защитный слой — из бетона класса В15 с плотностью  $3400 \text{ кг/м}^3$ ,  $M_{рз}50$ .

При разработке конструктивного армирования стен для жилого дома в соответствии с требованиями нормативных документов по проектированию и ввиду применения трехслойных конструкций с монолитной связью слоев, принято армирование стен осуществлять пространственными каркасами, состоящими из продольных плоских каркасов и отдельных стержней, которые в местах пересечения свариваются контактной точечной сваркой в соответствии с СН 393 «Инструкция по сварке соединений арматуры и закладных деталей железобетонных конструкций».

## Результаты и обсуждение

Арматурные каркасы и закладные изделия должны изготавливаться в соответствии с требованиями ГОСТ 10922–2012 «Арматурные изделия и закладные детали сварные для железобетонных конструкций. Технические требования и методы испытаний», ГОСТ 14098–2014 «Соединения сварные арматуры железобетонных изделий и конструкций. Контактная и ванная сварка». Объединение плоских каркасов в пространственные производится непосредственно в опалубке на строительной площадке путем связывания узлов пересечения арматуры вязальной проволокой. Арматура для стеновых конструкций принята из стали класса А-I, А-II, Вр-I.

## Сведения об авторах

**Запруднов Вячеслав Ильич** — д-р техн. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), zaprudnov@mgul.ac.ru

**Карпачёв Сергей Петрович** — д-р техн. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), karpachevs@mail.ru

## Выводы

Разработанная технология строительства жилых домов со сборно-монолитными стенами трехслойной конструкции предусматривает изготовление в полигонных условиях и установку в проектное положение крупноразмерных стеновых панелей с обязательным креплением их между собой металлическими элементами на сварке.

Для строительства одного двухквартирного трехкомнатного жилого дома с размерами в плане  $11,4 \times 8,8 \text{ м}$  по разработанной в Мытищинском филиале МГТУ им. Н.Э. Баумана технологии требуется изготовить 10 стеновых панелей со следующими размерами:  $7500 \times 2800 \times 300 \text{ мм}$  — 2 шт.;  $2600 \times 900 \times 200 \text{ мм}$  — 1 шт.;  $4400 \times 2800 \times 300 \text{ мм}$  — 4 шт.;  $3900 \times 2800 \times 300 \text{ мм}$  — 2 шт.;  $3900 \times 2600 \times 200 \text{ мм}$  — 1 шт.

## Список литературы

- [1] Валуева Е.Ф. Стеновые конструкции из арболита на основе костры конопли: автореферат дис. ... канд. техн. наук. М.: МГУЛ, 1998. 20 с.
- [2] Егорова Е.М. Защита стальной арматуры в арболите // Расчет, конструирование и технология изготовления бетонных и железобетонных изделий. М.: НИИЖБ, 1985. С. 29–31.
- [3] Запруднов В.И. Трехслойные конструкции с древесно-цементными теплоизоляционными слоями. М.: МГУЛ, 2006. 322 с.
- [4] Щербаков А.С., Запруднов В.И., Кучерявый В.И., Мирошникова Е.Ф. Разработка стеновых панелей из арболита и их внедрение в производство // Науч. тр. МГУЛ, 1997. Вып. 293. С. 5–13.
- [5] Щербаков А.С., Запруднов В.И., Мирошникова Е.Ф. Испытание трехслойных стеновых панелей для промышленных зданий с внутренним слоем из арболита // Науч. тр. МГУЛ, 1997. Вып. 293. С. 24–29.
- [6] Запруднов В.И., Карпачёв С.П., Быковский М.А. Технологии и технические средства процессов лесосечных работ // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2017. Т. 21. № 1. С. 108–117. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-1-108-117
- [7] Подчуфаров В.С., Чемлева Т.А., Щербаков А.С. Об оптимальном составе арболита повышенного качества // Науч. тр. МЛТИ, 1976. Вып. 93. С. 68–88.
- [8] Sanaev V.G., Zaprudnov V.I., Gorbaheva G.A., Oblivin A.N. Factors affecting the quality of wood-cement composites // Bulletin of the Transilvania University of Braşov. Series II: Forestry. Wood Industry. Agricultural Food Engineering, 2016, v. 9 (58), no. 2, pp. 63–71.
- [9] Уголев Б.Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения. М.: Лесная пром-сть, 1986. 266 с.
- [10] Запруднов В.И. Исследование процесса влияния технологических факторов на свойства древесно-цементного утеплителя // Науч. тр. МГУЛ, 1996. Вып. 285. С. 12–17.
- [11] Запруднов В.И., Подчуфаров В.С. Деформативность ковра из фиброцементной массы при изготовлении трехслойных стеновых панелей для малоэтажного домостроения // Науч. тр. МЛТИ, 1988. Вып. 203. С. 167–171.

Поступила в редакцию 26.06.2017.

Принята к публикации 25.12.2017.

## DEVELOPMENT OF MONOLITHIC THREE-LAYER WALL CONSTRUCTIONS WITH THERMAL INSULATING LAYER FROM WOOD-CEMENT MATERIAL

Zaprudnov V.I., Karpachyov S.P.

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

zaprudnov@mgul.ac.ru

We consider the development of optimal structural solutions and methods of finishing of three-layer structures with an insulating layer of wood-cement material for the construction of low-rise monolithic buildings with bearing walls. Constructive solutions of three-layer structures were proposed which along with the general requirements applicable to external walls of the building regulations must ensure that the acceptance of the vertical and horizontal loads due to self weight of the structure by the walls during the period of construction (before pre-set strength of wood-cement material); manufacturability of structures which are characterized by minimum human resources; creation of an expressive architectural form of the building. Development of sandwich structures with a monolithic connection of the layers was carried out in accordance with the economically expedient heat resistance to heat transfer structures defined on the thermal calculation for wall protections. The technology of construction of houses with precast-monolithic walls, three-layer design provides for their production in field conditions and installation in the design position of the large-size wall panels with a required connection between a metal elements on the weld.

**Keywords:** wood-cement material, low-rise construction, monolithic three-layer design

**Suggested citation:** Zaprudnov V.I., Karpachyov S.P. *Razrabotka monolitnykh trekhslonnykh stenovykh konstruktiv s teploizolyatsionnym sloem iz drevesno-tsementnogo materiala* [Development of monolithic three-layer wall constructions with thermal insulating layer from wood-cement material] *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 2, pp. 117–119. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-2-117-119

### References

- [1] Valueva E.F. *Stenovye konstruksii iz arbolita na osnove kostry konopli* [Wall structures made of arbolite based on bonfire hemp: abstract of cand. dis.]. Moscow: MGUL Publ., 1998, 20 p.
- [2] Egorova E.M. *Zashchita stal'noy armatury v arbolite. V kn.: Rashchet, konstruirovaniye i tekhnologiya izgotovleniya betonnykh i zhelezobetonnykh izdeliy* [Protection of steel reinforcement in an arbolite. In the book: Calculation, design and technology of manufacturing of concrete and reinforced concrete products]. Moscow: NIIZhB, Publ., 1985, pp. 29–31.
- [3] Zaprudnov V.I. *Trekhslonnye konstruksii s drevesno-tsementnymi teploizolyatsionnymi sloyami* [Three-layer constructions with wood-cement heat-insulating layers]. Moscow: MGUL Publ., 2006, 322 p.
- [4] Shcherbakov A.S., Zaprudnov V.I., Kucheryavy V.I., Miroshnikova E.F. *Razrabotka stenovykh paneley iz arbolita i ikh vnedrenie v proizvodstvo* [Development of wall panels from arbolite and their introduction into production]. [Scientific Works of MSFU], 1997, v. 293, pp. 5–13.
- [5] Shcherbakov A.S., Zaprudnov V.I., Miroshnikova E.F. *Ispytaniye trekhslonnykh stenovykh paneley dlya promyshlennykh zdaniy s vnutrennim sloem iz arbolita* [Testing of three-layer wall panels for industrial buildings with an internal layer of arbolite]. [Scientific Works of MSFU], 1997, v. 293, pp. 24–29.
- [6] Zaprudnov V.I., Karpachyov S.P., Bykovskiy M.A. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva protsessov lesosechnykh работ* [Technologies and technical equipment used in logging operations]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2017, v. 21, no. 1, pp. 108–117. DOI: 10.18698 / 2542-1468-2017-1-108-117
- [7] Podchufarov V.S., Chemleva T.A., Shcherbakov A.S. *Ob optimal'nom sostave arbolita povyshennogo kachestva* [On the optimal composition of high-quality arbolite]. [Scientific Works of MFTI], 1976, v. 93, pp. 68–88.
- [8] Sanaev V.G., Zaprudnov V.I., Gorbaheva G.A., Oblivin A.N. Factors affecting the quality of wood-cement composites. *Bulletin of the Transilvania University of Braşov. Series II: Forestry. Wood Industry. Agricultural Food Engineering*, 2016, v. 9 (58), no. 2, pp. 63–71.
- [9] Ugolev B.N. *Drevesinovedeniye s osnovami lesnogo tovarovedeniya* [Wood science with the basics of forest commodity science]. Moscow: Lesnaya prom-st' Publ., 1986, 266 p.
- [10] Zaprudnov V.I. *Issledovaniye protsessov vliyaniya tekhnologicheskikh faktorov na svoystva drevesno-tsementnogo uteplitelya* [Investigation of the process of the influence of technological factors on the properties of wood-cement insulator]. [Scientific Works of MSFU], 1996, v. 285, pp. 12–17.
- [11] Zaprudnov V.I., Podchufarov V.S. *Deformativnost' kovra iz fibrotsementnoy massy pri izgotovlenii trekhslonnykh stenovykh paneley dlya maloetazhnogo domostroeniya* [The deformativity of carpet from fibrocement mass in the production of three-layer wall panels for low-rise housing construction]. [Scientific Works of MFTI], 1988, v. 203, pp. 167–171.

### Authors' information

**Zaprudnov Vyacheslav Il'ich** — D-r Sci. (Tech.), Professor of BMSTU (Mytishchi branch), zaprudnov@mgul.ac.ru

**Karpachyov Sergey Petrovich** — D-r Sci. (Tech.), Professor of BMSTU (Mytishchi branch), karpachevs@mail.ru

Received 26.06.2017.

Accepted for publication 25.12.2017.

## ОЦЕНКА ОБЪЕМА ЖИДКОСТИ В ТЕЛЕСНЫХ УГЛАХ ТРАНСПОРТНЫХ ЖЕЛОБОВ ТОПЛИВНОГО БАКА КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

А.В. Корольков<sup>1</sup>, Л.В. Королькова<sup>1</sup>, В.Б. Сапожников<sup>2</sup>, Маслов В.А.<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>НТВЦ «ЭДУКОН», 107005, Москва, Лефортовская наб., д. 1

korolkov@mgul.ac.ru

Транспортный желоб как внутрибаковая конструкция предназначен для удержания и подвода жидкости к заборному устройству топливного бака двигательной установки космического аппарата. Транспортный желоб представляет собой телесный угол, удерживающий жидкость за счет капиллярных сил. Построена математическая модель работы транспортного желоба. Варьировались величина телесного угла и величина остаточного ускорения на борту космического аппарата. Сделана оценка объема жидкости, удерживаемого в телесном угле транспортного желоба. Полученная оценка позволяет убедиться в обоснованности выбранных инженерных решений при конструировании топливного бака. Внутрибаковая конструкция обеспечивает непрерывную подачу жидкого топлива в двигательную установку в самых напряженных режимах полета космического аппарата и подтверждает выводы о надежной работоспособности системы в целом.

**Ключевые слова:** внутрибаковая конструкция капиллярного типа, транспортный желоб, жидкое топливо, двигательная установка, запуск двигателя, условия невесомости, капиллярные силы, математическая модель, работоспособность системы подачи жидкого топлива в двигательную установку

**Ссылка для цитирования:** Корольков А.В., Королькова Л.В., Сапожников В.Б., Маслов В.А. Оценка объема жидкости в телесных углах транспортных желобов топливного бака космического аппарата // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 2. С. 120–124. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-2-120-124

При проектировании сложных технических систем к решению современных инженерных задач предъявляются повышенные требования, такие как точность получаемых результатов, обоснованность принятых допущений и применяемых методов решения, простота и технологичность изготовления отдельных узлов и устройств. Инженерная работа стала значительно более наукоемкой. В связи с этим все чаще в технических заданиях на выполнение сложных инженерных работ отдельным пунктом указывается необходимость апробации полученных результатов. В настоящей работе представлены к обсуждению результаты оценки эффективности использования одной из внутрибаковых конструкций, обеспечивающих непрерывную подачу жидкого топлива в двигательную установку космического аппарата в условиях, близких к невесомости.

### Цель работы

При запуске двигательной установки космического аппарата в условиях, близких к невесомости, необходимо обеспечить непрерывность потока жидкого топлива в заборное устройство топливного бака [1]. Для решения этой задачи используют различные внутрибаковые устройства капиллярного типа [2]. Показателем эффективности таких устройств можно считать объем жидкого топлива, гарантированно доставляемый в заборное устройство [3, 4].

Транспортные желоба [5–7] представляют собой пластины, прикрепленные под некоторым углом  $\alpha$  к демпфирующим перегородкам (рис. 1). Они в условиях невесомости удерживают жидкость в образовавшемся телесном угле за счет капиллярных сил.

На рис. 2 показаны возможные положения жидкости в сечениях зазоров, образованных телесными углами транспортного желоба, демпфирующей перегородкой и стенкой бака.

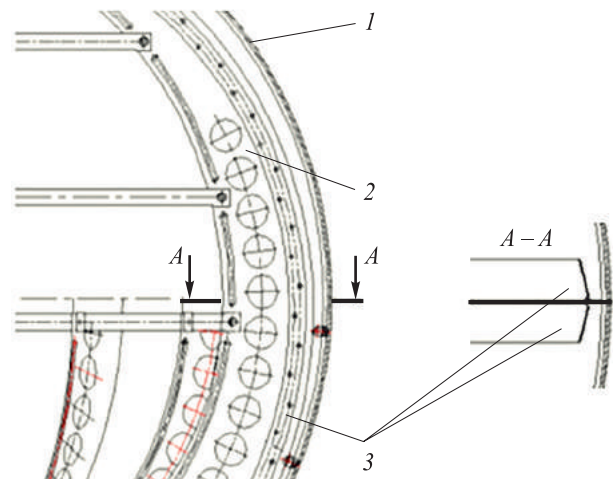


Рис. 1. Положение транспортных желобов в топливном баке: 1 — стенка бака, 2 — демпфирующая перегородка, 3 — транспортные желоба

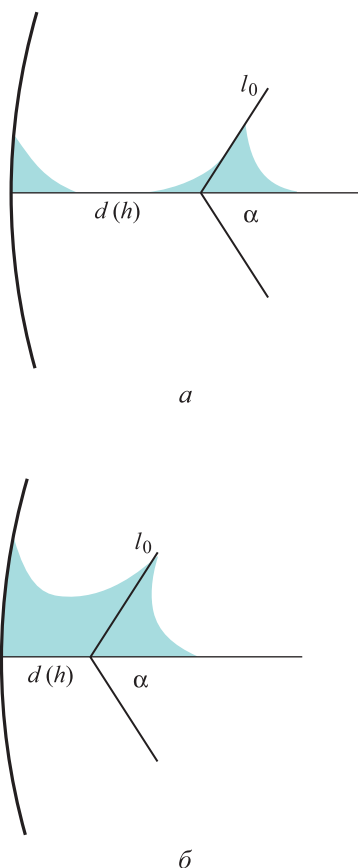
Fig. 1. Position of the transport channels in the fuel tank: 1 — tank wall, 2 — dampening partition, 3 — transport chutes



### Материалы и методы

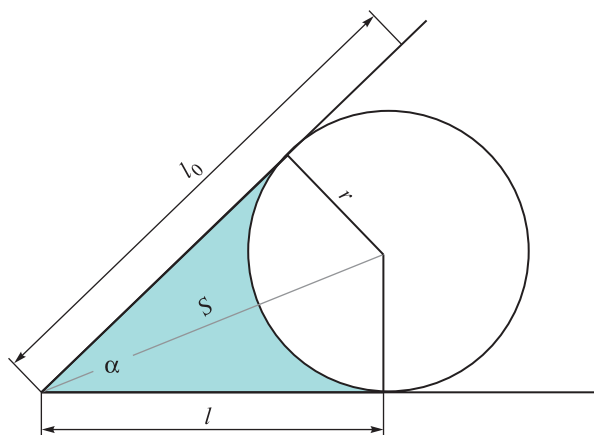
Считаем, что угол смачивания жидкостью материала, из которого изготовлены транспортные желоба, равен нулю (идеальное смачивание). В каждом горизонтальном сечении кривизна раздела сред между жидкостью и газом в верхней части бака определяется давлением столба жидкости (рис. 2, а). Чем ниже уровень сечения, тем заполнение углубления желоба и пространства между желобом и стенкой бака больше, и на уровне  $H_0$  углубление желоба заполнено полностью. В нижней части бака (при  $h < H_0$ ) жидкость заполняет углубление желоба и пространство между желобом и стенкой бака полностью, и площадь сечения столба жидкости в телесном угле определяется размерами желоба (рис. 2, б).

Рассмотрим сечение столба жидкости в верхней части бака в телесном угле транспортного желоба  $\alpha$  на высоте  $h$  над уровнем жидкости в баке при ускорении  $g$  (рис. 3).



**Рис. 2.** Возможное положение жидкости в телесных углах транспортного желоба и в пространстве между желобом и стенкой бака: в верхней части бака (а); в нижней части бака (б)

**Fig. 2.** Possible position of liquid in the solid corners of the transport chute and in the space between the chute and the tank wall: in the upper part of the tank (a); in the lower part of the tank (b)



**Рис. 3.** Горизонтальное сечение столба жидкости в вертикальном телесном угле  $\alpha$  транспортного желоба на высоте  $h$  над уровнем жидкости в баке при ускорении  $g$  (верхняя часть бака)

**Fig. 3.** The horizontal cross-section of the liquid column in the vertical solid angle  $\alpha$  of the transport chute at a height  $h$  above the liquid level in the tank at acceleration  $g$  (the upper part of the tank)

Радиус  $r$  поверхности жидкости определяет капиллярную силу, удерживающую жидкость на высоте  $h$ :

$$\rho gh = \frac{\sigma}{r(h)}.$$

Длина зоны смачивания

$$l(h) = \frac{r(h)}{\text{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right)}.$$

Площадь сечения столба жидкости

$$S(h) = r(h)l(h) - \frac{(\pi - \alpha)r(h)^2}{2}.$$

Объем жидкости в столбе высотой  $H$

$$V = S(H_0)H_0 + \int_{H_0}^H S(h)dh.$$

$H_0$  определяется из условия

$$\rho g H_0 = \frac{\sigma}{\text{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right)l_0}$$

(до высоты  $H_0$  заполнение телесного угла жидкостью постоянно и определяется глубиной  $l_0$  телесного угла).

После подстановки и выполнения интегрирования получаем формулу для определения объема жидкости, удерживаемого капиллярными силами в телесном угле высотой  $H$ :

$$V = S(H_0)H_0 + \left(\frac{1}{H_0} - \frac{1}{H}\right) \left(\frac{\sigma}{\rho g}\right)^2 \left(\frac{1}{\operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right)} - \frac{\pi - \alpha}{2}\right),$$

где

$$H_0 = \frac{\sigma}{\operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right) l_0 \rho g};$$

$$S(H_0) = l_0^2 \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right) \left(1 - \frac{\pi - \alpha}{2} \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right)\right).$$

### Результаты и обсуждение

Максимальная площадь  $S(H_0)$  сечения столба жидкости зависит от величины телесного угла  $\alpha$  (рис. 4). Максимальная площадь, а значит, и максимальный объем жидкости в зазоре достигается при угле примерно  $65^\circ$ .

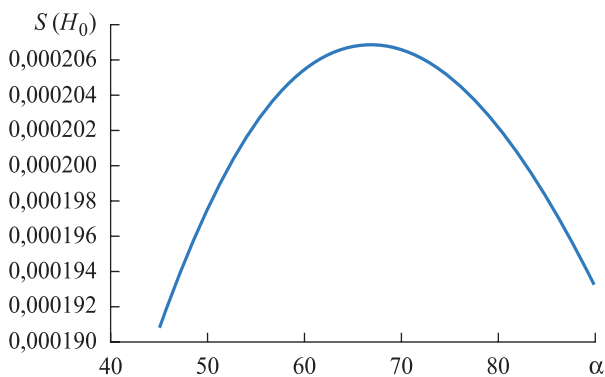


Рис. 4. Зависимость площади  $S(H_0)$  горизонтального сечения столба жидкости от величины телесного угла  $\alpha$   
 Fig. 4. Dependence of the area  $S(H_0)$  of the horizontal section of the liquid column on the value of the solid angle  $\alpha$

Столб жидкости в транспортном желобе непосредственно контактирует с фазоразделительным устройством (ФУ), что гарантирует непрерывное поступление объема  $V$  жидкости в заборное устройство при любой гравитационной обстановке. Наиболее напряженная ситуация возникает при отборе остатков топлива из бака, поэтому величину  $H$  можно считать равной расстоянию от верхней крышки ФУ до верхней стенки бака.

На рис. 5, 6 показана зависимость объема жидкости в канале транспортного желоба от величины остаточного ускорения при различных значениях угла  $\alpha$  ( $H = 0,65$ ;  $l_0 = 0,03$ ; жидкость — окислитель).

В полной невесомости транспортный желоб заполнен жидкостью полностью ( $H = H_0 = 0,65$ ):  $V = S(H_0)H_0$ .

На рис. 7 показана зависимость объема жидкости в телесном угле транспортного желоба от величины угла в условиях полной невесомости.

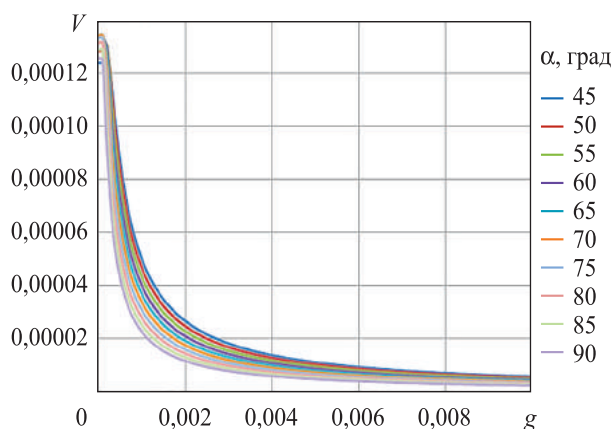


Рис. 5. Зависимость объема жидкости в одном канале транспортного желоба от ускорения при различных значениях угла  $\alpha$  ( $l_0 = 0,03$ ; жидкость — окислитель)  
 Fig. 5. Dependence of the fluid volume in one channel of the transport chute on acceleration for different values of the angle  $\alpha$  ( $l_0 = 0,03$ , liquid — oxidant)

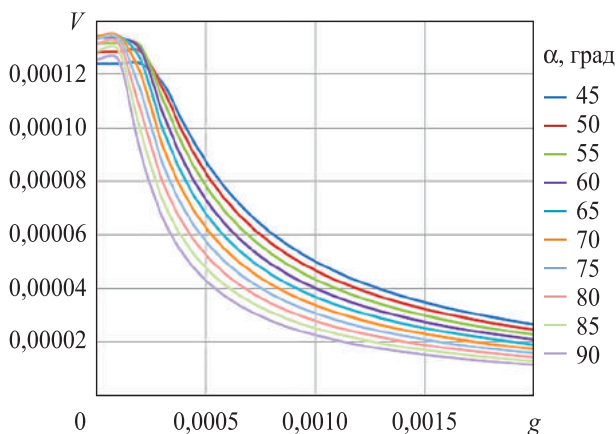


Рис. 6. Деталь рис. 5  
 Fig. 6. The detail of Fig. 5

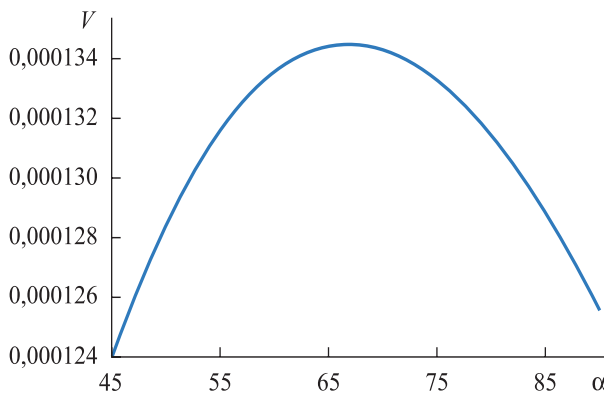


Рис. 7. Зависимость объема жидкости в телесном угле транспортного желоба от величины угла в условиях полной невесомости  
 Fig. 7. Dependence of the volume of liquid in the solid angle of the transport chute on the magnitude of the angle under conditions of total weightlessness

## Выводы

Сделанная оценка объема жидкости в транспортном желобе топливного бака космического аппарата позволяет убедиться в обоснованности выбранных инженерных решений, обеспечивающих непрерывную подачу жидкого топлива в двигательную установку в самых напряженных режимах полета космического аппарата и подтверждает выводы о надежной работоспособности системы в целом.

## Список литературы

- [1] Александров А.А., Хартов В.В., Новиков Ю.М., Крылов В.И., Ягодников Д.А. Современное состояние и перспективы разработки капиллярных топливозаборных устройств из комбинированных пористо-сетчатых материалов для космических аппаратов с длительным сроком активного существования // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение, 2015. № 6 (105). С. 130–142.
- [2] Большаков В.А., Новиков Ю.М., Партола И.С. Средства обеспечения сплошности жидких компонентов топлива в системе питания РБ «Бриз-М» с дополнительным (сбрасываемым) топливным баком // Сб. докл. РАН: XXXIV Науч. чтения, посв. науч. наследию и развитию идей К.Э. Циолковского. Гос. музей истории космонавтики им. К.Э. Циолковского, 1999. URL: <http://readings.gmik.ru/>.
- [3] Корольков А.В., Партола И.С., Сапожников В.Б. Теоретические основы разработки и экспериментальной отработки капиллярных заборных устройств с минимальными остатками топлива // Науч.-техн. разработки ОКБ-23 — КБ «Салют» / под ред. Ю.О. Бахвалова. М.: Воздушный транспорт, 2006. С. 313–319.
- [4] Корольков А.В., Меньшиков В.А., Партола И.С., Сапожников В.Б. Математическая модель капиллярного заборного устройства торового бака // Вестник МГУЛ — Лесной вестник, 2007. № 2. С. 35–39.
- [5] Новиков Ю.М., Большаков В.А. Инженерная школа МГТУ им. Н.Э. Баумана: комбинированные пористые сетчатые металлы. Эффективные, безопасные и экологичные изделия на их основе // Безопасность жизнедеятельности, 2005. № 11. С. 53–56.
- [6] Новиков Ю.М., Большаков В.А. Первые итоги реализации концепции создания высоконадежных фильтров из КПСМ для объектов повышенной опасности и других объектов различных отраслей экономики РФ // Безопасность жизнедеятельности, 2002. № 12. С. 7–10.
- [7] Poleshuk.M., Komarov E.G. Multiple hybrid regression for fuzzy observed data // Annual Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society – NAFIPS'2008 New York, May 19–22, 2008. New York: Rockefeller University. p. 4531224.

## Сведения об авторах

**Корольков Анатолий Владимирович** — д-р физ.-мат. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), [korolkov@mngul.ac.ru](mailto:korolkov@mngul.ac.ru)

**Королькова Любовь Варламовна** — старший преподаватель МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), [korolkov@mngul.ac.ru](mailto:korolkov@mngul.ac.ru)

**Сапожников Владимир Борисович** — д-р техн. наук, профессор кафедры «Ракетные двигатели» МГТУ им. Н.Э. Баумана, генеральный директор ООО НТВЦ «ЭДУКОН», [edukon@yandex.ru](mailto:edukon@yandex.ru)

**Маслов Владимир Анатольевич** — канд. тех. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), [korolkov@mngul.ac.ru](mailto:korolkov@mngul.ac.ru)

Принята к публикации 18.12.2017.

Поступила в редакцию 22.02.2018.

## ESTIMATION OF THE VOLUME OF FLUID IN THE SOLID ANGLES OF THE TRANSPORT CHUTES OF THE FUEL TANK OF A SPACECRAFT

A.V. Korol'kov<sup>1</sup>, L.V. Korol'kova<sup>1</sup>, V.B. Sapozhnikov<sup>2</sup>, V.A. Maslov<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>«EDUKON», 1, Lefortovskaya nab., Moscow, 107005, Russia

korolkov@mgul.ac.ru

Transport chute as intratank structure suitable for holding and supplying fluid to the intake device of the fuel tank of the propulsion system of the spacecraft. The transport chute is a solid angle that holds the liquid due to capillary forces. The mathematical model of the transport chute is constructed. The magnitude of the solid angle and the amount of residual accelerations on Board the spacecraft varies. The volume of liquid held in a solid angle of the transport chute is estimated. The resulting score helps to substantiate the selected engineering solutions in the construction of the fuel tank. The intratank structure provides a continuous supply of liquid fuel propulsion system in the most strenuous flight conditions of the spacecraft and confirms the conclusions about the reliable operability of the system as a whole.

**Keywords:** Intratank capillary type device, transport chute, liquid fuel, engine system, start the engine, the conditions of zero gravity, capillary forces, mathematical model, the performance of the system liquid fuel supply in the engine system

**Suggested citation:** Korol'kov A.V., Korol'kova L.V., Sapozhnikov V.B., Maslov V.A. *Otsenka ob'ema zhidkosti v telesnykh uglakh transportnykh zhelobov toplivnogo baka kosmicheskogo apparata* [Estimation of the volume of fluid in the solid angles of the transport chutes of the fuel tank of a spacecraft]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 2, pp. 120–124. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-2-120-124

### References

- [1] Aleksandrov A.A., Khartov V.V., Novikov Yu.M., Krylov V.I., Yagodnikov D.A. *Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razrabotki kapillyarnykh toplivozabornykh ustroystv iz kombinirovannykh poristo-setchatykh materialov dlya kosmicheskikh apparatov s dlitel'nyim srokom aktivnogo sushchestvovaniya* [Current state and prospects for the development of capillary fuel-collecting devices from combined porous-mesh materials for space vehicles with a long period of active existence]. Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building, 2015, no. 6 (105), pp. 130–142.
- [2] Bol'shakov V.A., Novikov Yu.M., Partola I.S. *Sredstva obespecheniya sploshnosti zhidkikh komponentov topliva v sisteme pitaniya RB «Briz-M» s dopolnitel'nyim (sbrasyvaемым) toplivnym bakom* [Means for ensuring the continuity of liquid fuel components in the power supply system of the Republic of Belarus «Briz-M» with an additional (resettable) fuel tank]. Collected Papers RAS: XXXIV Scientific readings devoted to the scientific heritage and development of ideas by K.E. Tsiolkovsky. Kaluga: State Museum of the History of Cosmonautics named after K.E. Tsiolkovsky, 1999. Available at: <http://readings.gmik.ru/>
- [3] Korol'kov A.V., Partola I.S., Sapozhnikov V.B. *Teoreticheskie osnovy razrabotki i eksperimental'noy otrabotki kapillyarnykh zabornykh ustroystv s minimal'nymi ostatkami topliva* [Theoretical bases of development and experimental development of capillary sampling devices with minimal fuel residues]. Scientific and technical developments OKB-23 – KB «Salyut». Ed. Yu.O. Bakhvalov. Moscow: Vozdushnyy transport [Air Transport Publ.], 2006, pp. 313–319.
- [4] Korol'kov A.V., Men'shikov V.A., Partola I.S., Sapozhnikov V.B. *Matematicheskaya model' kapillyarnogo zabornogo ustroystva torovogo baka* [Mathematical model of the capillary sampling device of the torus tank]. *Moscow State Forest University Bulletin* — *Lesnoy vestnik*, 2007, no. 2, pp. 35–39.
- [5] Novikov Yu.M., Bol'shakov V.A. *Inzhenernaya shkola MGTU im. N.E. Baumana: kombinirovannye poristye setchatye metally. Effektivnye, bezopasnye i ekologichnye izdeliya na ikh osnove* [Engineering School of BMSTU: Combined porous mesh metals. Effective, safe and eco-friendly products on their basis]. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti* [Vital safety], 2005, no. 11, pp. 53–56.
- [6] Novikov Yu.M., Bol'shakov V.A. *Pervye itogi realizatsii kontseptsii sozdaniya vysokonadezhnykh fil'trov iz KPSM dlya ob'ektov povyshennoy opasnosti i drugikh ob'ektov razlichnykh otrasley ekonomiki RF* [The first results of the implementation of the concept of creating highly reliable filters from KPSM for high-risk facilities and other objects of various industries of the Russian Federation]. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti* [Vital safety], 2005, no. 12, pp. 7–10.
- [7] Poleshuk M., Komarov E.G. Multiple hybrid regression for fuzzy observed data. Annual Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society – NAFIPS'2008 New York, May 19–22, 2008. New York: Rockefeller University. p. 4531224.

### Authors' information

**Korol'kov Anatoliy Vladimirovich** — Dr. Sci. (Phys.-Math.), Professor of BMSTU (Mytishchi branch), korolkov@mgul.ac.ru

**Korol'kova Lyubov' Varlamovna** — Senior Lecturer of BMSTU (Mytishchi branch), korolkov@mgul.ac.ru

**Sapozhnikov Vladimir Borisovich** — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the Department «Missile Engines» of BMSTU, General Director of «EDUKON», edukon@yandex.ru

**Maslov Vladimir Anatol'evich** — Cand. Sci. (Tech.), Assoc. Professor of BMSTU (Mytishchi branch), korolkov@mgul.ac.ru

Received 18.12.2017.

Accepted for publication 22.02.2018.



**СПЕКТР ИЗЛУЧЕНИЯ РАЗРЯДА В МАГНЕТРОНЕ С ПОЛЫМ КАТОДОМ****Н.П. Полуэктов<sup>1</sup>, Ю.П. Царьгородцев<sup>1</sup>, И.И. Усатов<sup>1</sup>, Е.П. Козловская<sup>1</sup>,  
О.О. Амеликин<sup>2</sup>, Г.Р. Восканян<sup>2</sup>**<sup>1</sup>МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская область, г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1<sup>2</sup>МГТУ им. Н.Э. Баумана, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1

poluekt@mgu.ac.ru

Проведены изучение спектра излучения магнетронного разряда с полым катодом, питание которого осуществляется источником постоянного тока. Источник питания и система измерений параметров плазмы импульсного разряда разработаны сотрудниками секции физики. Цель исследований — определить область ионизации распыленных атомов мишени.

**Ключевые слова:** магнетрон с полым катодом, плазма, спектральные и зондовые измерения

**Ссылка для цитирования:** Полуэктов Н.П., Царьгородцев Ю.П., Усатов И.И., Козловская Е.П., Амеликин О.О., Восканян Г.Р. Спектр излучения разряда в магнетроне с полым катодом // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 2. С. 125–133. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-2-125-133

**В** лаборатории секции физики МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал) создан источник высокоплотной плазмы на основе магнетрона с полым катодом [1–3]. Особенностью этого разряда является высокая концентрация плазмы (более  $10^{11}$  см<sup>-3</sup> при давлении 1...10 мТорр), создаваемая в большом объеме, низкая (10...25 эВ) и легко изменяемая энергия ионов, приходящих на подложку. Установки на основе данного разряда широко применяются за рубежом для создания адгезионных, диффузионных и затравочных слоев в канавках (трещинах) и межслойных отверстиях современных УБИС [4–7].

**Цель работы**

В работе [2] мы показали, что в магнетронном разряде с полым катодом, работающим в режиме постоянного тока (сила тока < 10 А, мощность 1...4 кВт), внутри мишени плазма с высокой концентрацией ( $10^{12}$  см<sup>-3</sup>) расположена близки цилиндрической поверхности, а на оси катода — на порядок меньше. На оси разряда концентрация плазмы достигает максимальных значений за пределами магнетрона на расстоянии 4...8 см. Поэтому возникает предположение, что ионизация распыленных атомов металла происходит вне магнетрона.

Цель данных исследований — с помощью спектральных и зондовых измерений экспериментально определить область ионизации распыленных атомов меди в магнетроне с полым катодом, работающем в режиме постоянного тока.

**Материалы и методы**

Схема установки показана на рис. 1. Катод магнетрона выполнен в виде закрытого с одного конца цилиндра (диаметр 14 см, длина 10 см), изготовленного из меди и охлаждаемого водой. Источник постоянного тока имеет мощность до 12 кВт. Камера откачивается турбомолекуляр-

ным насосом до давления  $10^{-5}$  Торр, затем через электронный регулятор расхода (25...50 см<sup>3</sup>/мин) напускается аргон до давления 10 мТорр.

В качестве блока питания разряда используется инверторный источник мощностью до 12 кВт (20 А, 600 В). Магнитное поле создается столбиками магнитов из сплава Fe–Nd–B, расположенных вокруг катода, а также электромагнитом, установленным вблизи выходного сечения. Концы столбиков соединены кольцевыми железными магнитопроводами. Индукция магнитного поля вблизи цилиндрической поверхности катода составляет 450 Гс. Магнитная пробка на выходе из катода, образуемая такой конструкцией, удерживает вторичные электроны внутри катода.

Для расширения потока плазмы и создания более однородного радиального распределения на расстоянии нескольких сантиметров от среза и установлен электромагнит, магнитное поле которого включено навстречу магнитному полю постоянных магнитов.

Анодом источника плазмы является медное кольцо, расположенное в технологической камере, изолированное от нее. На кольцо можно подавать потенциал, в приводимых ниже экспериментах этот потенциал был равен +30 В, при этом весь разрядный ток приходил на кольцо. Из источника плазма поступает в технологическую камеру диаметром 300 мм и длиной 45 см.

Между катодом и заземленным анодом устанавливалась изолированная цилиндрическая вставка диаметром 160 мм и длиной 110 мм.

Система диагностики включает спектральную и зондовую диагностику. Программа сбора данных написана на языке LabVIEW. Спектральная диагностика позволяет измерять как спектр излучения плазмы, так и контур отдельных линий. С помощью оптического зонда и монохроматора

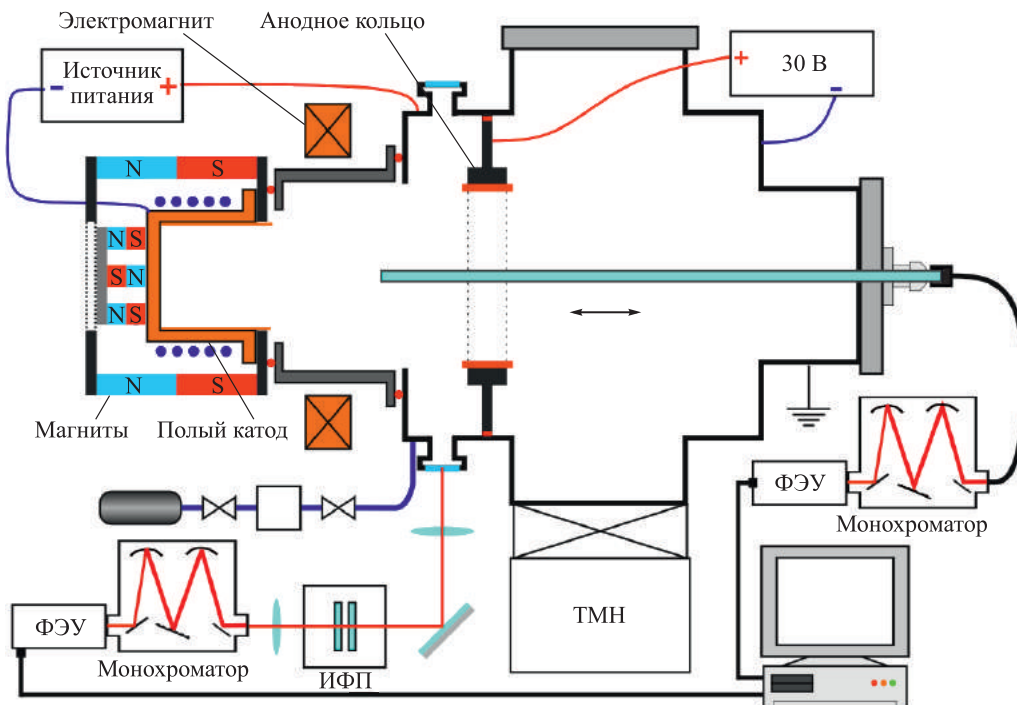


Рис. 1. Схема экспериментальной установки  
 Fig. 1. Diagram of the experimental unit

(см. рис. 1) измеряли интенсивность излучения атомов и ионов аргона (газа, в котором производился разряд) и меди (материал мишени). Зонд представляет собой керамическую трубку длиной 20 см с внутренним и внешним диаметрами 9 и 20 мм соответственно. Керамическая трубка вставляется в медную трубку, которая выводится из камеры через вакуумное уплотнение. На дальнем от плазмы конце трубки установлено кварцевое окошко. Таким образом, в трубку попадает излучение из узкого конуса плазмы, находящегося перед ней. Оптический зонд может передвигаться вдоль камеры. Расстояние до оптического зонда отсчитывается от выходного сечения магнетрона, т. е. в этом месте  $Z = 0$ . Излучение из трубки фокусируется на кварцевое оптоволокно диаметром 1 мм, а с него — на монохроматор с обратной дисперсией 1,3 нм/мм. Вращая дифракционную решетку монохроматора (1200 штр./мм), производят настройку на определенную спектральную линию. В качестве приемника излучения использовался ФЭУ-100. Сигнал с ФЭУ через усилитель выводился на плату National Instruments NI-6221.

Измерение температуры атомов, которая необходима для расчета ионизации распыленных с мишени атомов металла, проводили с помощью интерферометра Фабри — Перо, сканируемого давлением. Излучение из бокового окна, расположенного на расстоянии 19 см от выходного сечения катода-мишени линзой подавалось на интерферометр, который располагался в герметичной камере с прозрачными окнами. Так как для измерений

использовались спектральные линии, лежащие в ультрафиолетовой области, линзы, стекла камеры и интерферометра были изготовлены из кварца.

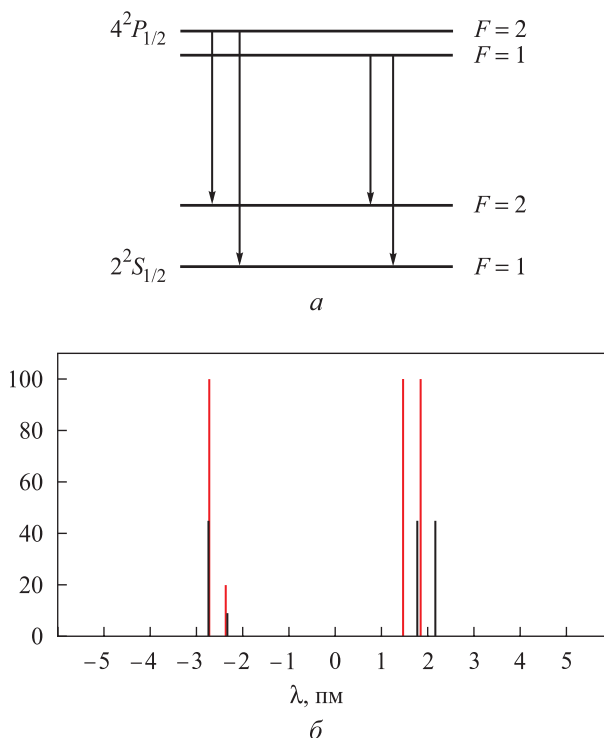


Рис. 2. Схема расщепления уровней и сверхтонкая структура линии Cu327,4 нм (а); относительная интенсивность различных компонент линии Cu327,4 нм (б)  
 Fig. 2. Scheme of the splitting levels and the hyperfine structure of the Cu327,4 nm line (a); the relative intensity of the various components of the Cu327,4 nm line (b)

Т а б л и ц а

**Линии изотопов**  
**Isotope lines**

Cu ( <i>M</i> = 63)		Cu ( <i>M</i> = 65)	
$\Delta\lambda$ , пм	<i>I</i> , отн. ед.	$\Delta\lambda$ , пм	<i>I</i> , отн. ед.
-2,4	20	-2,37	9
-2,76	100	-2,76	45
1,8	100	2,12	45
1,44	199	1,73	45

В камеру через натекатель подавался газ. Сигнал с датчика давления выводился на компьютер. Интерференционная картина фокусировалась на входную щель монохроматора, на которой устанавливалась круглая диафрагма диаметром 0,4 мм. Изменение давления вызывало изменение радиусов интерференционной картины. За выходной щелью монохроматора располагался приемник излучения ФЭУ-100. Определение температуры атомов определялось по измерению полуширины доплеровского уширения спектральных линий Ag750,4 и Cu327,4 нм. Линия Cu327,4 нм имеет сложную структуру, которая обусловлена двумя эффектами: изотопическим смещением уровней и сверхтонким расщеплением. Медь имеет два изотопа: Cu<sup>63</sup> (69 %) и Cu<sup>65</sup> (31 %). В результате взаимодействия спинового момента ядра  $I = 3/2$  с механическим моментом электронов  $J$  основной уровень  $^2S_{1/2}$  и верхний уровень  $^2P_{1/2}$  расщепляются на два сверхтонких уровня с полными механическими моментами атома  $F = I + J = 1$  и 2 (рис. 2, а). Таким образом, линия 327,4 нм для одного изотопа состоит из четырех компонентов, а для двух изотопов — из восьми компонентов (см. таблицу).

На рис. 2, а представлены схема расщепления уровней и сверхтонкая структура линии Cu327,4 нм, а также сдвиги длины волны, на рис. 2, б — относительная интенсивность различных компонентов линии. Эти компоненты образуют две группы, отстоящие друг от друга на расстоянии 4 пм. Внутри каждой группы компоненты располагаются близко друг к другу и не разрешаются спектроскопическим методом, поэтому данная линия выглядит дублетом. Основной вклад в полуширину спектральной линии в плазме низкого давления дает доплеровское уширение вследствие хаотического движения атомов, описываемое гауссовой кривой. Доплеровская полуширина определяется формулой

$$\Delta\lambda_D = 7,16 \cdot 10^{-7} \lambda_0 \sqrt{\frac{T}{M}}, \quad (1)$$

где  $\lambda_0$  — длина волны, соответствующая центру линии каждого компонента сверхтонкого расщепления;

$T$  — температура атома, К;

$M$  — молекулярный вес.

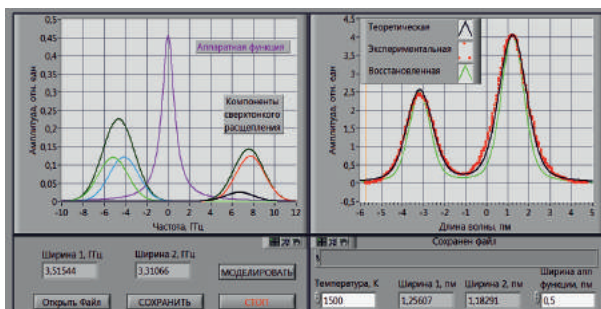


Рис. 3. Интерфейс программы расчета температуры расплывшихся атомов меди из контура спектральной линии Cu327,4 нм

Fig. 3. Interface of the program for calculating the temperature of sputtered copper atoms from the contour of the Cu327,4 nm spectral line

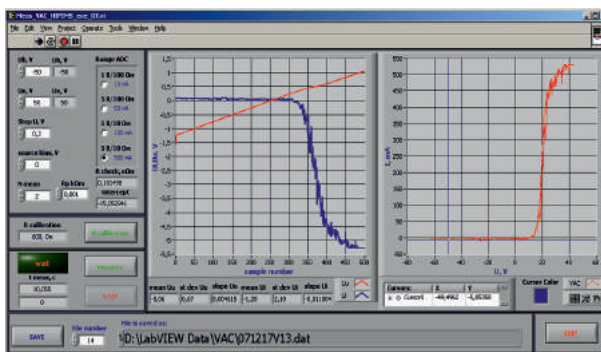


Рис. 4. Интерфейс программы регистрации ВАХ

Fig. 4. The interface of the CVC registration program

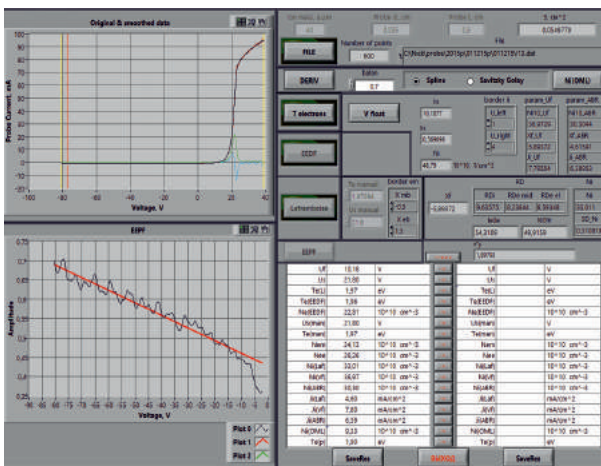


Рис. 5. Интерфейс программы обработки ВАХ цилиндрического зонда

Fig. 5. Interface of the program for processing the CVC of a cylindrical probe

Регистрируемый контур линии представляет собой свертку суммы гауссовых кривых всех компонентов субуровней и аппаратной функции интерферометра Фабри — Перо, что приводит к увеличению регистрируемой полуширины линии. Для определения гауссовой полуширины и температуры атомов из измеренного контура



линии Cu327,4 нм была разработана программа, скриншот которой представлен на рис. 3. Слева показаны компоненты субуровневой сверхтонкого расщепления, справа красными точками показан измеренный в эксперименте контур. Черная линия — теоретический контур, полученный в результате свертки аппаратной функции, описываемый лоренцевской функцией, и суммы гауссовых кривых сверхтонкого расщепления. Зеленая линия — восстановленный гауссов контур, по полуширине которого рассчитывается температура, очищенный от аппаратной функции и компонентов сверхтонкого расщепления. Видно, что полуширина этой линии значительно меньше измеренной экспериментально. Температура атомов, рассчитанная по формуле (1) с полушириной линии, измеренной в эксперименте, будет завышена в 1,5–2 раза, так как ее величина зависит от квадрата полуширины линии.

С помощью разработанной системы зондовой диагностики можно определять концентрацию плазмы, температуру электронов, плазменный и плавающий потенциалы в различные моменты времени импульсного разряда. Вольфрамовый зонд Лэнгмюра имеет диаметр 0,35 мм и длину 5 мм. Аппаратную часть системы составляют: разработанный в лаборатории мощный высоковольтный усилитель на базе операционного усилителя RA92 фирмы APREX microtechnology; блок датчиков тока с электронной коммутацией и собственно плата сбора данных фирмы National Instruments. Вольт-амперная характеристика (ВАХ) зонда, состоящая максимум из 540 пар точек напряжение — ток (каждая точка получается усреднением по 10 измерениям), регистрируется за время менее 2 с. Малое время регистрации является необходимым условием работы в металлической плазме, где на зонд и другие датчики осаждается пленка металла.

Графический интерфейс виртуального прибора (рис. 4) позволяет задавать все параметры регистрации и имеет графическое окно, где отображается измеренная ВАХ. Он дает возможность проводить калибровку усилителей перед началом работы, выбирать диапазон и шаг напряжения при измерении ВАХ, число прописываемых ВАХ для получения усредненной.

На рис. 5. показан скриншот программы обработки зондовых измерений. Обработка экспериментальных ВАХ включает в себя сглаживание данных кубическими сплайнами или методом Савицкого — Галая, вычисление первой (для определения  $V_s$ ) и второй (для определения функции распределения электронов по энергиям (ФРЭЭ)  $f(E)$ ) производных тока по методике, предложенной в [8]. Концентрацию электронов определяют интегрированием ФРЭЭ по энергии.

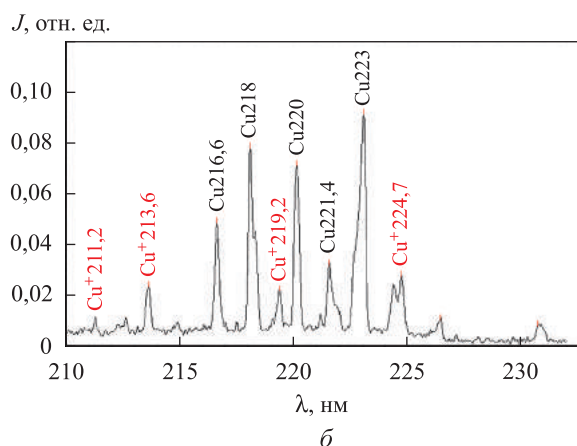
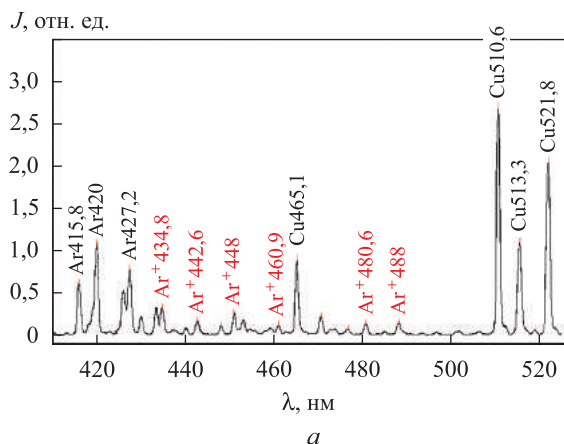


Рис. 6. Спектр плазмы ( $p = 10$  мТорр;  $I_{эл} = 3,5$  А;  $W = 2,2$  кВт;  $Z = 19$  см)

Fig. 6. The plasma spectrum ( $p = 10$  mTorr;  $I_e = 3,5$  A;  $W = 2.2$  kW;  $Z = 19$  cm)

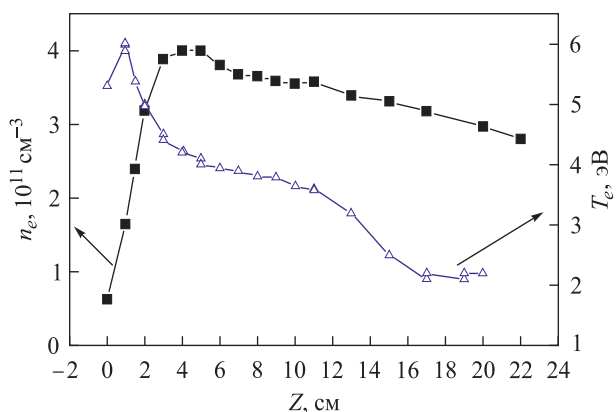


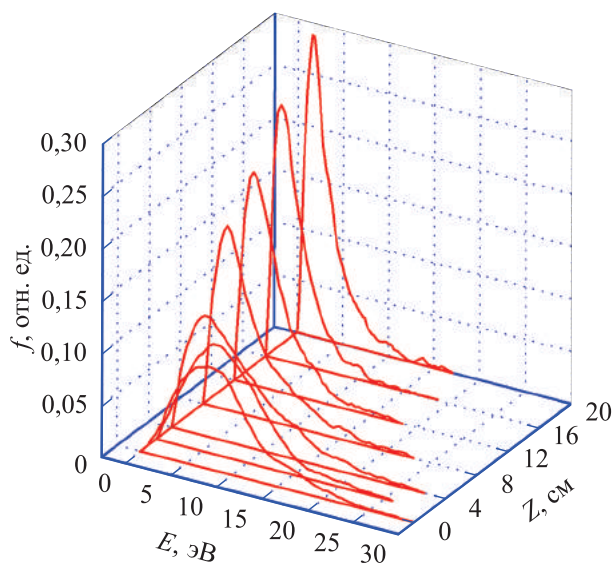
Рис. 7. Аксиальное распределение за магнетроном концентрации  $n_e$  и температуры  $T_e$  электронов ( $p = 0$ ;  $I_{эл} = 3,5$  А;  $W = 2,2$  кВт;  $Z = 19$  см)

Fig. 7. The axial distribution behind the magnetron of the concentration  $n_e$  and the temperature  $T_e$  of the electrons ( $p = 0$ ;  $I_e = 3,5$  A;  $W = 2,2$  kW;  $Z = 19$  cm)

## Результаты и обсуждение

На рис. 6 представлены спектры плазмы на ультрафиолетовом и сине-зеленом участках, снятые на расстоянии 19 см от среза магнетрона.





**Рис. 8.** Функции распределения электронов по энергии  $f(E)$  на разных расстояниях от катода ( $p = 10$  мТорр;  $W = 2,2$  кВт)

**Fig. 8.** Electron energy distribution functions  $f(E)$  at different distances from the cathode ( $p = 10$  mTorr,  $W = 2,2$  kW)

Эти участки выбраны потому, что здесь присутствуют линии атомов и ионов аргона и меди. В частности, мы выбрали для измерений линии ионов  $\text{Cu}^+213,6$  нм,  $\text{Cu}^+224,7$  нм,  $\text{Ar}^+480,6$  нм и  $\text{Ar}^+488$  нм. Резонансные линии атомов меди  $\text{Cu}324,7$  нм и  $\text{Cu}327,4$  нм не использовались вследствие их поглощения.

На рис. 7 представлено аксиальное распределение концентрации электронов, измеренное на оси разряда. При  $Z = 0$  (выходное сечение полого катода) концентрация равна  $0,6 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-3}$ , далее она возрастает до  $4 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-3}$  на расстоянии 4 см, затем медленно спадает и на расстоянии 20 см составляет  $2,5 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-3}$ .

Там же приведено распределение эффективной температуры электронов, которая рассчитывается по формуле

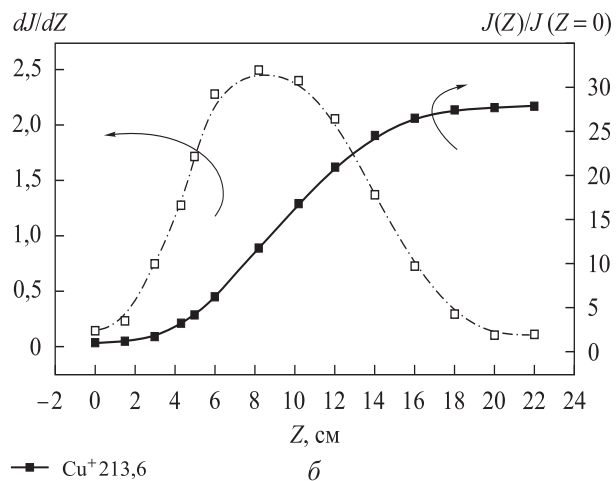
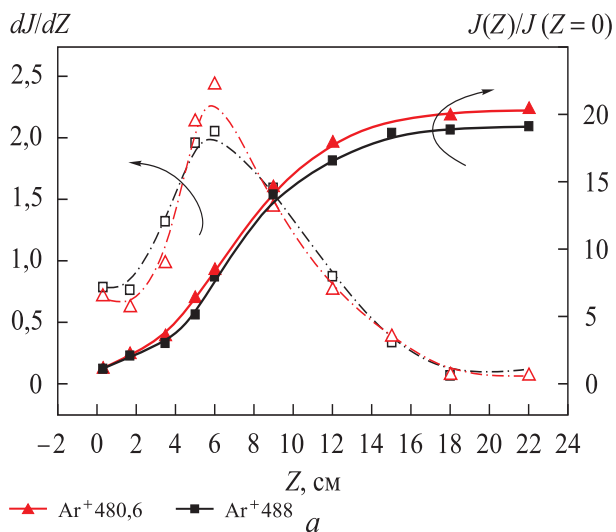
$$T_e = \frac{2}{3} \frac{\int_0^\infty E f(E) dE}{\int_0^\infty f(E) dE}, \quad (2)$$

где  $E$  — энергия электронов;

$f(E)$  — функция распределения электронов по энергиям, определяемая по второй производной ВАХ.

Температура электронов на выходе из мишени порядка 6 эВ, на расстоянии 20 см — порядка 2 эВ.

Более наглядную картину дает ФРЭЭ, так как именно электроны играют основную роль в возбуждении и ионизации атомов. На рис. 8 приведены функции распределения электронов по энергиям  $f(E)$  на различных расстояниях от катода.



**Рис. 9.** Аксиальные распределения интегрального излучения  $J$  и его производной  $dJ/dZ$  линий ионов Ar и Cu за магнетроном ( $p = 10$  мТорр;  $W = 2,2$  кВт;  $I_{эл} = 3,5$  А)

**Fig. 9.** The axial distributions of the integral radiation  $J$  and its derivative  $dJ/dZ$  of the Ar and Cu ion lines behind the magnetron ( $p = 10$  mTorr,  $W = 2,2$  kW,  $I_e = 3,5$  A)

В области от 0 до 10 см максимальные значения ФРЭЭ находятся в пределах 5...10 эВ, далее максимум смещается к меньшим значениям, однако до 30 см имеется большое количество электронов с энергией выше 7,7 эВ, равной потенциалу ионизации атомов меди.

На рис. 9 показаны нормализованные интенсивности излучения линий ионов аргона и меди как функции расстояния от мишени, также измеренные на оси разряда. Нормализованная интенсивность излучения есть интегральное излучение столба плазмы от дна магнетрона до начала оптического зонда, деленное на излучение при  $Z = 0$ . При  $Z = 0$  эта величина равна единице. Видно, что излучение резко возрастает на расстоянии 4...14 см, затем рост замедляется и выходит на плато. Для ионов аргона и меди интенсивность излучения возрастает в 20 и 25 раз соответственно на расстоянии 20 см. На этих рисунках также приведены зависимости

производных  $dJ/dZ$  от расстояния. Максимум производной для ионов меди сдвинут вправо, т. е. ионизация атомов меди происходит на больших расстояниях от магнетрона. Эти измерения показывают, что основная ионизация атомов распыляемого металла происходит за пределами мишени.

На рис. 10 для сравнения представлены аналогичные результаты для линий атомов Ar и Cu. Здесь возрастание интенсивностей линий Ar750,4; Cu216; Cu515 нм с расстоянием значительно меньше, всего в 3,5–4 раза, а интенсивности линий с переходами на метастабильный (долгоживущий) уровень Cu510,6; Ar811,5 нм увеличиваются только в два раза. При этом интенсивность линии Cu811,5 нм на большом расстоянии начинает уменьшаться, что связано с поглощением данной линии.

Следовательно, внутри полого катода количество атомов Ar и Cu достаточно велико и их концентрация за пределами магнетрона изменяется существенно меньше, чем концентрация ионов. Наличие сильных метастабильных линий меди (Cu510,6 и Cu811,5 нм) указывает на то, что ионизация атомов металла может происходить как из основного состояния, так и с метастабильных уровней энергии.

Длина пути ионизации определяется по формуле [9]

$$\lambda_{ion} = v_{Cu}/K_i n_e. \quad (3)$$

Здесь  $v_{Cu}$  — скорость распыленных атомов металла;

$$K_i = \langle \sigma_i v_e \rangle = \int_{E_i}^{\infty} v \sigma_i f(E) dE \text{ — константа скорости ионизации,}$$

где  $\sigma_i$  — сечение;

$E_i = 8,77$  эВ — энергия ионизации атомов меди;

$f(E)$  — ФРЭЭ;

$E$  — энергия электронов.

Величина  $K_i$  хорошо аппроксимируется формулой [9]

$$K_i \approx K_{i0} \exp(-E_i/T_e), \quad (4)$$

где  $K_{i0} = 5,62 \cdot 10^{-8}$  — константа для атомов меди,  $\text{см}^3/\text{с}$  [10].

Функция распределения распыленных атомов металла при энергиях ионов 300...800 эВ хорошо описывается формулой Томпсона [11]. Это распределение возрастает линейно и достигает максимума при энергии сублимации металла, а затем уменьшается как  $E^{-2}$ . Для атомов меди наиболее вероятная энергия атомов, покидающих поверхность металла, составляет около 3 эВ, но вследствие хвоста высокоэнергетичных атомов средняя энергия достигает порядка 10 эВ.

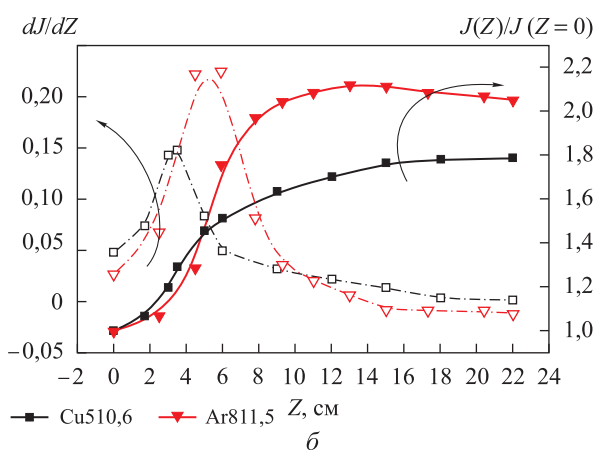
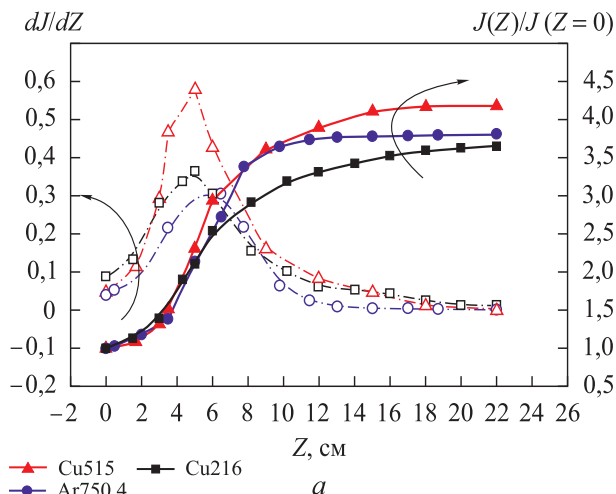


Рис. 10. Аксиальные распределения интегрального излучения  $J$  и его производной  $dJ/dZ$  линий атомов Ar и Cu за магнетроном ( $p = 10$  мТорр;  $W = 2,2$  кВт;  $I_{эл} = 3,5$  А)

Fig. 10. Axial distributions of the integral radiation  $J$  and its derivative  $dJ/dZ$  of the Ar and Cu ion lines behind the magnetron ( $p = 10$  mTorr,  $W = 2,2$  kW,  $I_e = 3,5$  A)

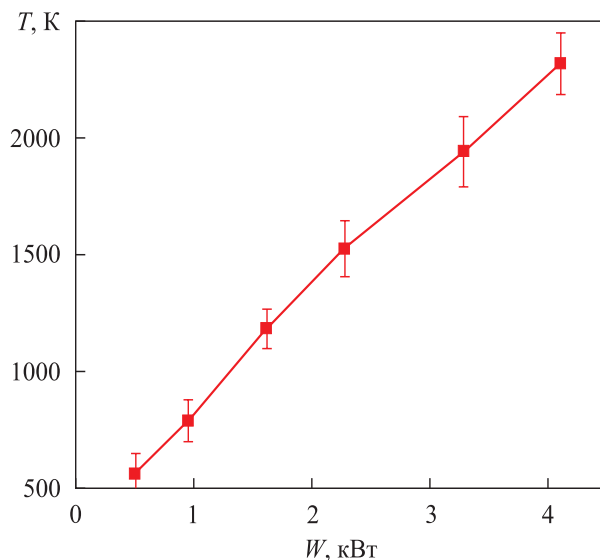


Рис. 11. Зависимость температуры атомов от мощности разряда ( $p = 10$  мТорр;  $Z = 19$  см)

Fig. 11. Dependence of the atoms temperature on the discharge power ( $p = 10$  mTorr;  $Z = 19$  cm)

Скорость ионов определяется по формуле [9] (скорость бомовская)

$$v_i = \sqrt{k_B T_e / M}, \quad (5)$$

где  $k_B$  — константа Больцмана;  
 $M$  — масса атома.

Для энергии 3 эВ скорость атомов меди  $v_{Cu} = 3 \cdot 10^5$  см/с, поэтому величина  $\lambda_{ion} = 30$  см в плазме с концентрацией  $n_e = 5 \cdot 10^{11}$  см<sup>-3</sup> и температурой  $T_e = 3$  эВ. Чтобы повысить степень ионизации распыленных атомов металла, нужно уменьшить их скорость. Этого можно достигнуть, увеличив давление разряда. В нашем эксперименте давление равно 10 мТорр. В результате столкновений с атомами нейтрального газа атомы меди теряют свою энергию (термализуются), их скорость уменьшается, соответственно, увеличиваются время нахождения в разряде и вероятность ионизации. Среднюю длину пробега для упругих столкновений атомов металла с атомами и ионами аргона можно оценить по формуле

$$\lambda_{упр} = 1 / (n_i \sigma_{in} + n_n \sigma_{nn}), \quad (6)$$

где  $\sigma_{in}$  и  $\sigma_{nn}$  — сечения столкновений с ионами и атомами соответственно.

Их величины лежат в диапазоне  $(3 \dots 8) \cdot 10^{-15}$  см<sup>2</sup>. При  $n_i = 10^{12}$  см<sup>-3</sup> и  $n_n = 10^{14}$  см<sup>-3</sup> средняя длина свободного пробега составляет порядка 1 см. При каждом столкновении с атомом аргона ( $M_{Ar} = 40$ ) атом меди ( $M_{Cu} = 64$ ) теряет  $\delta = 2m_{Cu}m_{Ar}/(m_{Ar} + m_{Cu})^2 = 47\%$  своей энергии, поэтому на расстоянии 10 см большинство атомов меди термализуется. Температура атомов аргона при этом возрастает. Кроме распыленных атомов меди, большой энергией обладают ионы аргона и меди, которые ускоряются электрическим полем в плазме. При столкновениях с атомами аргона они также передают им энергию, в результате устанавливается равновесная температура тяжелых частиц.

Температура атомов аргона и меди была определена из полуширины доплеровского уширения спектральных линий Ag750,4 и Cu327,4 нм. На рис. 11 показана зависимость температуры атомов от мощности разряда на расстоянии 19 см от магнетрона. Температура атомов линейно увеличивалась с ростом мощности разряда с 600 К (0,05 эВ) при 0,5 кВт до 2400 К (0,21 эВ) при 4,2 кВт. Такие значения энергии значительно меньше, чем энергия, с которой атомы меди покидают мишень. Эти экспериментальные данные количественно совпадают с рассмотренной выше моделью.

Внутри полого катода ( $Z < 0$ ) концентрация электронов менее  $10^{11}$  см<sup>-3</sup> (см. рис. 6) и вероятность ионизации распыленных атомов в этой области мала. Концентрация атомов аргона внутри магнетрона уменьшается вследствие двух

причин: во-первых, поток ионов, выходящий из катода, в результате столкновений с атомами выталкивает их (ионный ветер); во-вторых, температура газа возрастает и при постоянном давлении концентрация падает. Эти факторы уменьшают вероятность ионизации внутри полого катода. Снаружи магнетрона вплоть до 30 см от него концентрация электронов превышает  $10^{11}$  см<sup>-3</sup> и имеется много электронов с энергией выше потенциала ионизации меди. Там же происходит термализация распыленных атомов мишени, их скорость уменьшается и увеличивается время нахождения в высокоплотной плазме. Таким образом, основная ионизация атомов металла происходит за пределами полого катода.

## Выводы

С помощью оптического зонда измерена интенсивность излучения атомов и ионов аргона и меди на различных расстояниях от магнетрона с полым катодом. Определено, что основная ионизация распыленных атомов металла в данном разряде происходит не внутри полого катода, а на расстоянии 6...14 см от него. С помощью зонда и интерферометра Фабри — Перо найдены распределения концентрации, температуры электронов, функции распределения электронов по энергии и температура тяжелых частиц. По результатам измерений разработана модель ионизации распыленных атомов металла в данном разряде.

## Список литературы

- [1] Tsar'gorodtsev Yu.P., Poluektov N.P., Usatov I.I., Evstigneev A.G., Kamyschov I.A.. Ionization Fraction of the Sputtered Metal Flux in a Hollow Cathode Magnetron // Plasma Physics Reports, 2014, v. 40, no. 9, pp. 754–759.
- [2] Poluektov N.P., Tsar'gorodtsev Yu.P., Usatov I.I., Evstigneev A.G., Kamyschov I.A. Plasma parameters of the hollow cathode magnetron inside and downstream // Plasma Sources Science and Technology, 2015, v. 24, pp. 035009–(1–15).
- [3] Poluektov N.P., Tsar'gorodtsev Yu.P., Usatov I.I., Evstigneev A.G. Energy flux to the substrate in a magnetron discharge with hollow cathode // Thin Solid Films, 2017, v. 640, pp. 60–66.
- [4] Klawuhn E., D' Couto G.C., Ashtiani K.A. Ionized physical-vapor deposition using a hollow-cathode magnetron source for advanced metallization // J. Vac. Sci. Technol., 2000, v. 18A, no. 4, pp. 1546–1549.
- [5] Meng L., Raju R., Flauta R., Shin H., Ruzic D.N. In situ plasma diagnostics study of a commercial high-power hollow cathode magnetron deposition tool // J. Vac. Sci. Technol., 2010, v. 28 A, p. 112–118.
- [6] Wu L., Ko E., Dulkan A., Park K.J., Fields S., Leeser K., Meng L., Ruzic D.N. Flux and energy analysis of species in hollow cathode magnetron ionized physical vapor deposition of copper // Rev. Sci. Instrum., 2010, v. 81, p. 123502.

- [7] Dulkin A., Ko E., Wu L., Karim I., Leaser K., Park K.J., Meng L., Ruzic D.N. Improving the quality of barrier/seed interface by optimizing physical vapor deposition of Cu Film in hollow cathode magnetron // *J. Vac. Sci. Technol.*, 2011, v. 29 A, p. 041514–1.
- [8] Chen F.F. «Electrical probes» in *Plasma Diagnostic Techniques* / eds. R.H. Huddlestone and S.L. Leonard. New York: Academic Press, 1965, ch. 4, pp. 113–200.
- [9] Lieberman V.A., Lichtenberg A.J. *Principles of Plasma Discharge and Material Processing*. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1994, 572 p.
- [10] Lotz W. Electron-impact ionization cross-sections for atoms up to  $Z = 108$  // *Zeitschrift fur Physik A Hadrons and Nuder*, 1970, v. 232, no. 1, pp. 101–107.
- [11] Thompson M.W. The energy spectrum of ejected atoms during the high energy sputtering of gold // *Philos. Mag.* 1968, v. 15, no. 1, pp. 1–10.

## Сведения об авторах

**Полуэктков Николай Павлович** — д-р техн. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), poluekt@mgul.ac.ru

**Царьгородцев Юрий Петрович** — канд. техн. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), tsargor@yandex.ru

**Усатов Игорь Игоревич** — канд. техн. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), usatov.igor@gmail.com

**Козловская Евгения Петровна** — канд. физ.-мат. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), poluekt@mgul.ac.ru

**Амелькин Олег Олегович** — студент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), oleganik555@yandex.ru

**Восканян Глеб Раульевич** — студент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), g.woskanjan@gmail.com

Принята к публикации 30.11.2017.

Поступила в редакцию 24.01.2018.



## EMISSION SPECTRUM OF A DISCHARGE IN HOLLOW CATHODE MAGNETRON

N.P. Poluektov<sup>1</sup>, Yu.P. Tsar'gorodtsev<sup>1</sup>, I.I. Usatov<sup>1</sup>, E.P. Kozlovskaya<sup>1</sup>, O.O. Amel'kin<sup>2</sup>, G.R. Voskanyan<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>BMSTU, 2nd Baumanskaya st., 5, b. 1, 105005, Moscow, Russia

poluekt@mgul.ac.ru

The study of emission spectrum in discharge with a magnetron hollow cathode is carried out, which is powered by a direct current source. The power source and the system for measuring the parameters of the pulsed discharge plasma were developed by the staff of the physics section. The purpose of the investigation was to determine the ionization region of the sputtered target atoms.

**Keywords:** hollow cathode magnetron, plasma, spectral and probe measurements

**Suggested citation:** Poluektov N.P., Tsar'gorodtsev Yu.P., Usatov I.I., Kozlovskaya E.P., Amel'kin O.O., Voskanyan G.R. *Spektr izlucheniya razryada v magnetrone s polym katodom* [Emission spectrum of a discharge in hollow cathode magnetron]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 2, pp. 125–133.

DOI: 10.18698/2542-1468-2018-2-125-133

### References

- [1] Tsar'gorodtsev Yu.P., Poluektov N.P., Usatov I.I., Evstigneev A.G., Kamyschov I.A.. Ionization Fraction of the Sputtered Metal Flux in a Hollow Cathode Magnetron. *Plasma Physics Reports*, 2014, v. 40, no. 9, pp. 754–759.
- [2] Poluektov N.P., Tsar'gorodtsev Yu.P., Usatov I.I., Evstigneev A.G., Kamyschov I.A. Plasma parameters of the hollow cathode magnetron inside and downstream. *Plasma Sources Science and Technology*, 2015, v. 24, pp. 035009–(1–15).
- [3] Poluektov N.P., Tsar'gorodtsev Yu.P., Usatov I.I., Evstigneev A.G. Energy flux to the substrate in a magnetron discharge with hollow cathode. *Thin Solid Films*, 2017, v. 640, pp. 60–66.
- [4] Klawuhn E., D'Couto G.C., Ashtiani K.A. Ionized physical-vapor deposition using a hollow-cathode magnetron source for advanced metallization. *J. Vac. Sci. Technol.*, 2000, v. 18A, no. 4, pp. 1546–1549.
- [5] Meng L., Raju R., Flauta R., Shin H., Ruzic D.N. *In situ* plasma diagnostics study of a commercial high-power hollow cathode magnetron deposition tool. *J. Vac. Sci. Technol.*, 2010, v. 28 A, p. 112–118.
- [6] Wu L., Ko E., Dulkan A., Park K.J., Fields S., Leeser K., Meng L., Ruzic D.N. Flux and energy analysis of species in hollow cathode magnetron ionized physical vapor deposition of copper. *Rev. Sci. Instrum.*, 2010, v. 81, p. 123502.
- [7] Dulkan A., Ko E., Wu L., Karim I., Leeser K., Park K.J., Meng L., Ruzic D.N. Improving the quality of barrier/seed interface by optimizing physical vapor deposition of Cu Film in hollow cathode magnetron. *J. Vac. Sci. Technol.*, 2011, v. 29 A, p. 041514–1.
- [8] Chen F.F. «Electrical probes» in *Plasma Diagnostic Techniques*. Eds. R.H. Huddlestone and S.L. Leonard. New York: Academic Press, 1965, ch. 4, pp. 113–200.
- [9] Lieberman V.A., Lichtenberg A.J. *Principles of Plasma Discharge and Material Processing*. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1994, 572 p.
- [10] Lotz W. Electron-impact ionization cross-sections for atoms up to  $Z = 108$  // *Zeitschrift fur Physik A Hadrons and Nuder*, 1970, v. 232, no. 1, pp. 101–107.
- [11] Thompson M.W. The energy spectrum of ejected atoms during the high energy sputtering of gold. *Philos. Mag.* 1968, v. 15, no. 1, pp. 1–10.

### Authors' information

**Poluektov Nikolay Pavlovich** — Dr. Sci (Tech.), Professor of BMSTU (Mytishchi branch), poluekt@mgul.ac.ru

**Tsar'gorodtsev Yuriy Petrovich** — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of BMSTU (Mytishchi branch), tsargor@yandex.ru

**Usatov Igor Igorevich** — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of BMSTU (Mytishchi branch), usatov.igor@gmail.com

**Kozlovskaya Evgeniya Petrovna** — Cand. Sci. (Phys.-Math.), Associate Professor of BMSTU (Mytishchi branch), poluekt@mgul.ac.ru

**Amel'kin Oleg Olegovich** — student of BSTMU, oleganik555@yandex.ru

**Voskanyan Gleb Raulevich** — student of BSTMU, g.woskanjan@gmail.com.

Received 30.11.2017.

Accepted for publication 24.01.2018.

## О РЕШЕНИИ УРАВНЕНИЙ МАЛЫХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ РАСТЯНУТОЙ НИТИ В ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КООРДИНАТАХ

А.В. Брюквин, О.Ю. Брюквина

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

Во многих технических задачах применяются гибкие нити. В работах по колебаниям гибких связей и нитей обычно рассматривается плоский случай поперечных колебаний, недостаточно анализируется взаимосвязь колебаний в различных плоскостях в пространственном случае. В тоже время эксперименты со струнами музыкальных инструментов, нитями в текстильном производстве и в космических тросовых системах показывают, что колебания чаще носят не плоский, а сложный пространственный характер. Не существует однозначного метода расчета движения гибкой нити, особенно в случае пространственного движения. В данной работе рассматривается малое пространственное поперечное движение гибкой деформируемой нити, которое включает и хорошо исследованное колебательное движение, представимое в виде разложения на формы по гармоническим функциям, и вращательное движение элементов нити вокруг оси, проходящей через точки закрепления, и комбинацию этих движений. Для более наглядного описания вращательного движения выбраны цилиндрические координаты. С помощью уравнений малых поперечных колебаний нити в двух перпендикулярных плоскостях декартовой системы координат путем замены переменных получены уравнения, в явном виде выделяющие величину отклонения элемента нити от прямолинейного первоначального положения и направление этого отклонения, описываемое углом. Данные уравнения позволяют проанализировать не только смещение элемента нити, но и вращение плоскости колебания вокруг первоначального статического положения. Получена оценка пространственной формы струны, записанная в цилиндрических координатах. Показано, что движение струны в общем виде складывается из отклонения точек, описываемого хорошо известным уравнением плоских колебаний и вращением их вокруг оси, проходящей через точки граничного закрепления. Колебание может представлять собой линию, форма которой определяется граничными и начальными условиями.

**Ключевые слова:** гибкая нить, колебания

**Ссылка для цитирования:** Брюквин А.В., Брюквина О.Ю. О решении уравнений малых пространственных колебаний растянутой нити в цилиндрических координатах // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 2. С. 134–139. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-2-134-139

В данной работе рассматривается малое пространственное поперечное движение гибкой деформируемой нити, которое включает и хорошо исследованное колебательное движение, представимое в виде разложения на формы по гармоническим функциям [1–4], и вращательное движение элементов нити вокруг оси, проходящей через точки закрепления, и комбинацию этих движений. Как и в большинстве работ [5–8], рассматриваются свободные колебания при нулевых граничных условиях. Для более наглядного описания вращательного движения выбраны цилиндрические координаты.

### Цель работы

С помощью уравнений малых поперечных колебаний нити в двух перпендикулярных плоскостях декартовой системы координат путем замены переменных получить уравнения, в явном виде выделяющие величину отклонения элемента нити от прямолинейного первоначального положения и направление этого отклонения, описываемое углом. Данные уравнения позволят проанализировать не только смещение элемента нити, но и вращение плоскости колебания вокруг первоначального статического положения, что бывает

удобно при решении ряда задач [9, 10]. В результате решения получим описание пространственной формы струны, в цилиндрических координатах.

### Постановка задачи

Решим задачу о поперечных колебаниях струны с предварительным натяжением силой  $T = E\varepsilon$ , где  $E$  — модуль упругости;  $\varepsilon$  — удлинение струны.

Нить натянута вдоль оси  $OX$ , и каждая ее точка характеризуется координатой  $s$  этой оси. Смещение элемента струны вдоль осей  $OY$  и  $OZ$  будем обозначать через  $v$  и  $w$  соответственно. Функции  $v$  и  $w$  являются функциями двух переменных: лагранжевой координаты  $s$  и времени  $t$ .

Уравнения малых поперечных колебаний в этом случае имеют вид:

$$\rho \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} = E\varepsilon \frac{\partial^2 v}{\partial s^2}; \quad \rho \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = E\varepsilon \frac{\partial^2 w}{\partial s^2}, \quad (1)$$

где  $\rho$  — погонная плотность струны.

Преобразуем эти уравнения, перейдя к полярным координатам:  $v = r \sin \varphi$  и  $w = r \cos \varphi$ , где  $r$  и  $\varphi$  — соответственно отклонение элемента нити от оси  $OX$  и угол, показывающий направления этого отклонения в плоскости, параллельной  $OYZ$ .

Эти функции зависят от двух переменных:  $s$  и  $t$ .

Тогда

$$\frac{\partial v}{\partial s} = \frac{\partial r}{\partial s} \sin \varphi + r \frac{\partial \varphi}{\partial s} \cos \varphi; \quad \frac{\partial w}{\partial s} = \frac{\partial r}{\partial s} \cos \varphi - r \frac{\partial \varphi}{\partial s} \sin \varphi;$$

$$\frac{\partial^2 v}{\partial s^2} = \left( \frac{\partial^2 r}{\partial s^2} - r \left( \frac{\partial \varphi}{\partial s} \right)^2 \right) \sin \varphi + \left( 2 \frac{\partial r}{\partial s} \frac{\partial \varphi}{\partial s} + r \frac{\partial^2 \varphi}{\partial s^2} \right) \cos \varphi;$$

$$\frac{\partial^2 w}{\partial s^2} = \left( \frac{\partial^2 r}{\partial s^2} - r \left( \frac{\partial \varphi}{\partial s} \right)^2 \right) \cos \varphi - \left( 2 \frac{\partial r}{\partial s} \frac{\partial \varphi}{\partial s} + r \frac{\partial^2 \varphi}{\partial s^2} \right) \sin \varphi.$$

Перепишем уравнение (1) в виде проекций на радиальную и трансверсальную составляющие (вдоль  $r$  и перпендикулярно  $r$ ), показанные на рис. 1.

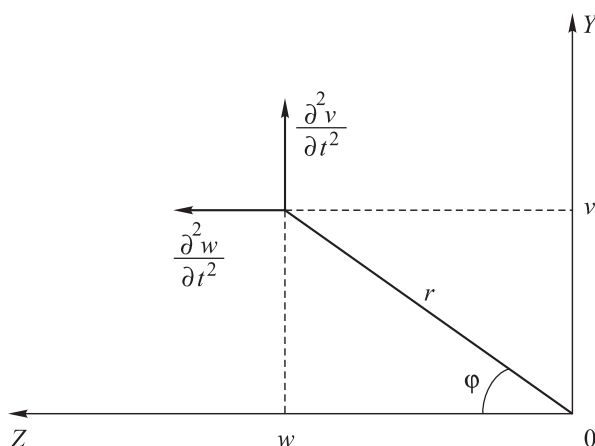


Рис. 1. Система координат  
Fig. 1. The coordinate system

Радиальная составляющая ускорения

$$\frac{\partial^2 v}{\partial t^2} \sin \varphi + \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} \cos \varphi = \frac{1}{r} \left( \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} v + \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} w \right) = \frac{\partial^2 r}{\partial t^2} - r \left( \frac{\partial \varphi}{\partial s} \right)^2.$$

С другой стороны,

$$\begin{aligned} \rho \left( \frac{\partial^2 r}{\partial t^2} - r \left( \frac{\partial \varphi}{\partial t} \right)^2 \right) &= E\varepsilon \left( \frac{\partial^2 v}{\partial s^2} \sin \varphi + \frac{\partial^2 w}{\partial s^2} \cos \varphi \right) = \\ &= E\varepsilon \left( \frac{\partial^2 r}{\partial s^2} - r \left( \frac{\partial \varphi}{\partial s} \right)^2 \right). \end{aligned}$$

Трансверсальная составляющая:

$$\begin{aligned} \rho \left( \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} \cos \varphi - \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} \sin \varphi \right) &= E\varepsilon \left( \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} \cos \varphi - \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} \sin \varphi \right); \\ \rho \left( 2 \frac{\partial r}{\partial t} \frac{\partial \varphi}{\partial t} + r \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} \right) &= E\varepsilon \left( 2 \frac{\partial r}{\partial s} \frac{\partial \varphi}{\partial s} + r \frac{\partial^2 \varphi}{\partial s^2} \right). \end{aligned}$$

Если обозначить через  $a$  скорость поперечной волны ( $a^2 = Es/\rho$ ), получим

$$\rho \left( \frac{\partial^2 r}{\partial t^2} - r \left( \frac{\partial \varphi}{\partial t} \right)^2 \right) = a^2 \left( \frac{\partial^2 r}{\partial s^2} - r \left( \frac{\partial \varphi}{\partial s} \right)^2 \right); \quad (2)$$

$$\rho \left( 2 \frac{\partial r}{\partial t} \frac{\partial \varphi}{\partial t} + r \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} \right) = a^2 \left( 2 \frac{\partial r}{\partial s} \frac{\partial \varphi}{\partial s} + r \frac{\partial^2 \varphi}{\partial s^2} \right). \quad (3)$$

Решением уравнений (2) являются любые функции, зависящие от  $(s \pm at)$ , что можно определить подстановкой.

Сделаем замену переменных:  $\xi = s - at$ ;  $\eta = s + at$ . Тогда

$$\frac{\partial r}{\partial t} = \frac{\partial r}{\partial \xi} (-a) + \frac{\partial r}{\partial \eta} (a); \quad \frac{\partial \varphi}{\partial t} = \frac{\partial \varphi}{\partial \xi} (-a) + \frac{\partial \varphi}{\partial \eta} (a);$$

$$\frac{\partial r}{\partial s} = \frac{\partial r}{\partial \xi} + \frac{\partial r}{\partial \eta}; \quad \frac{\partial \varphi}{\partial t} = \frac{\partial \varphi}{\partial \xi} + \frac{\partial \varphi}{\partial \eta};$$

$$\frac{\partial^2 r}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 r}{\partial \xi^2} a^2 - 2 \frac{\partial^2 r}{\partial \xi \partial \eta} a^2 + \frac{\partial^2 r}{\partial \eta^2} a^2;$$

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial \xi^2} a^2 - 2 \frac{\partial^2 \varphi}{\partial \xi \partial \eta} a^2 + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial \eta^2} a^2;$$

$$\frac{\partial^2 r}{\partial s^2} = \frac{\partial^2 r}{\partial \xi^2} + 2 \frac{\partial^2 r}{\partial \xi \partial \eta} + \frac{\partial^2 r}{\partial \eta^2};$$

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial \xi^2} + 2 \frac{\partial^2 \varphi}{\partial \xi \partial \eta} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial \eta^2}.$$

В уравнении (2) получаем

$$\frac{\partial^2 r}{\partial \xi \partial \eta} = r \frac{\partial \varphi}{\partial \xi} \frac{\partial \varphi}{\partial \eta}. \quad (4)$$

В уравнении (3) получаем

$$-r \frac{\partial^2 \varphi}{\partial \xi \partial \eta} = \frac{\partial r}{\partial \eta} \frac{\partial \varphi}{\partial \xi} + \frac{\partial r}{\partial \xi} \frac{\partial \varphi}{\partial \eta}. \quad (5)$$

Будем решать систему уравнений (4), (5) методом разделения переменных. Предположим, что функции  $r(\xi, \eta)$  и  $\varphi(\xi, \eta)$  представимы в виде произведения двух функций, одна из которых зависит только от  $\xi$ , а другая только от  $\eta$ :

$$r(\xi, \eta) = \tilde{r}(\xi) \tilde{r}(\eta); \quad \varphi(\xi, \eta) = \tilde{\varphi}(\xi) \tilde{\varphi}(\eta).$$

Тогда систему уравнений (4), (5) можно записать в виде

$$\frac{\partial \tilde{r}(\xi)}{\partial \xi} \frac{\partial \tilde{r}(\eta)}{\partial \eta} = \tilde{\varphi}(\xi) \tilde{\varphi}(\eta) \frac{\partial \tilde{\varphi}(\xi)}{\partial \xi} \frac{\partial \tilde{\varphi}(\eta)}{\partial \eta} \tilde{r}(\xi) \tilde{r}(\eta); \quad (6)$$

$$\begin{aligned} -\tilde{r}(\xi) \tilde{r}(\eta) \frac{\partial \tilde{\varphi}(\xi)}{\partial \xi} \frac{\partial \tilde{\varphi}(\eta)}{\partial \eta} &= \\ = \tilde{r}(\xi) \frac{\partial \tilde{r}(\eta)}{\partial \eta} \tilde{\varphi}(\eta) \frac{\partial \tilde{\varphi}(\xi)}{\partial \xi} + \tilde{r}(\eta) \frac{\partial \tilde{r}(\xi)}{\partial \xi} \tilde{\varphi}(\xi) \frac{\partial \tilde{\varphi}(\eta)}{\partial \eta}. \end{aligned} \quad (7)$$

Поделив уравнение (6) на  $\frac{\partial \tilde{r}(\eta)}{\partial \eta} \tilde{\varphi}(\xi) \frac{\partial \tilde{\varphi}(\xi)}{\partial \xi} \tilde{r}(\xi)$ ,

а уравнение (7) на  $\tilde{r}(\xi) \tilde{r}(\eta) \frac{\partial \tilde{\varphi}(\xi)}{\partial \xi} \frac{\partial \tilde{\varphi}(\eta)}{\partial \eta}$ , получим

$$\frac{\frac{\partial \tilde{r}(\xi)}{\partial \xi}}{\tilde{r}(\xi) \tilde{\varphi}(\xi) \frac{\partial \tilde{\varphi}(\xi)}{\partial \xi}} = \frac{\tilde{r}(\eta) \tilde{\varphi}(\eta) \frac{\partial \tilde{\varphi}(\eta)}{\partial \eta}}{\frac{\partial \tilde{r}(\eta)}{\partial \eta}}; \quad (8)$$

$$(9)-1 = \frac{\frac{\partial \tilde{r}(\eta)}{\partial \eta} \tilde{\varphi}(\eta)}{\tilde{r}(\eta) \frac{\partial \tilde{\varphi}(\eta)}{\partial \eta}} + \frac{\frac{\partial \tilde{r}(\xi)}{\partial \xi} \tilde{\varphi}(\xi)}{\tilde{r}(\xi) \frac{\partial \tilde{\varphi}(\xi)}{\partial \xi}}.$$

Левая часть уравнения (8) зависит только от  $\xi$ , а правая — только от  $\eta$ . Следовательно, равенство возможно только в случае, если левая и правая часть уравнения (8) являются константами:

$$\frac{\frac{\partial \tilde{r}(\xi)}{\partial \xi}}{\tilde{r}(\xi) \tilde{\varphi}(\xi) \frac{\partial \tilde{\varphi}(\xi)}{\partial \xi}} = \text{const}; \quad \frac{\tilde{r}(\eta) \tilde{\varphi}(\eta) \frac{\partial \tilde{\varphi}(\eta)}{\partial \eta}}{\frac{\partial \tilde{r}(\eta)}{\partial \eta}} = \text{const}. \quad (10)$$

Аналогичные рассуждения для уравнения (9) позволяют получить

$$\frac{\frac{\partial \tilde{r}(\xi)}{\partial \xi} \tilde{\varphi}(\xi)}{\tilde{r}(\xi) \frac{\partial \tilde{\varphi}(\xi)}{\partial \xi}} = \text{const}; \quad \frac{\frac{\partial \tilde{r}(\eta)}{\partial \eta} \tilde{\varphi}(\eta)}{\tilde{r}(\eta) \frac{\partial \tilde{\varphi}(\eta)}{\partial \eta}} = \text{const}. \quad (11)$$

Поделив уравнение (11) на уравнения (10) получим

$$\tilde{\varphi}(\xi) = \text{const}; \quad \tilde{\varphi}(\eta) = \text{const}.$$

Отсюда следует, что одновременное выполнение уравнений (10) и (11) возможно только в случае

$$(12) \tilde{\varphi}(\xi) = \text{const}; \quad \tilde{\varphi}(\eta) = \text{const}.$$

$$\frac{\partial^2}{\partial \xi \partial \eta} (\tilde{r}(\xi) \tilde{r}(\eta)) = 0. \quad (13)$$

Уравнение (13) представляет собой канонический вид уравнения поперечных колебаний:

$$\frac{\partial^2 r(s,t)}{\partial t^2} = a^2 \frac{\partial^2 r(s,t)}{\partial s^2}.$$

Уравнение (12) можно записать в виде:

$$\frac{\partial \tilde{\varphi}(\xi)}{\partial \xi} = \frac{\partial \tilde{\varphi}(\eta)}{\partial \eta} = 0,$$

или

$$\tilde{\varphi}(\eta) \frac{\partial \tilde{\varphi}(\xi)}{\partial \xi} = \tilde{\varphi}(\xi) \frac{\partial \tilde{\varphi}(\eta)}{\partial \eta},$$

или

$$\frac{\partial \varphi(\xi, \eta)}{\partial \xi} = \frac{\partial \varphi(\xi, \eta)}{\partial \eta} = 0.$$

Если вернуться к переменным  $s$  и  $t$ , получим

$$\frac{\partial \varphi(s, t)}{\partial t} = \pm a \frac{\partial \varphi(s, t)}{\partial s}. \quad (14)$$

Допустим,  $\varphi(s, t)$  представима в виде произведения  $\tilde{\varphi}(s) \tilde{\varphi}(t)$ . Тогда можно записать:

$$\frac{\frac{\partial \tilde{\varphi}(t)}{\partial t}}{\tilde{\varphi}(t)} = \pm a \frac{\frac{\partial \tilde{\varphi}(s)}{\partial s}}{\tilde{\varphi}(s)},$$

или

$$\frac{\frac{\partial \tilde{\varphi}(t)}{\partial t}}{\tilde{\varphi}(t)} = \lambda = \text{const}; \quad \frac{\frac{\partial \tilde{\varphi}(s)}{\partial s}}{\tilde{\varphi}(s)} = a\lambda = \text{const}.$$

Общим решением уравнения  $\frac{\partial \tilde{\varphi}(t)}{\partial t} - \lambda \tilde{\varphi}(t) = 0$

является функция  $\tilde{\varphi}(t) = C_1 e^{\lambda t}$ , а решением уравнения

$$\frac{\partial \tilde{\varphi}(s)}{\partial s} - \frac{\lambda}{a} \tilde{\varphi}(s) = 0 \text{ — функция } \tilde{\varphi}(s) = C_1 e^{\frac{\lambda}{a} s}.$$

Кроме того, это уравнение должно удовлетворять граничным условиям, которое в случае закрепленных концов сформулируем в виде:

$$\tilde{\varphi}(0) - \tilde{\varphi}(l) = \alpha,$$

где  $\alpha$  — угол закручивания, а точнее, угол отклонения плоскости колебания на одном конце относительно другого. Таким образом, плоскость колебания может иметь не только плоскую форму, но и форму, описываемую уравнениями

$$\varphi(s, t) = \tilde{\varphi}(s) \tilde{\varphi}(t) = C_1 e^{\lambda t} e^{\frac{\lambda}{a} s}. \quad (15)$$

Плоскость колебания может быть и положительной, и отрицательной. Это значит, что она может вращаться как с ускорением, так и с замедлением. Постоянная  $C$  в уравнении (15) определяется из начальных и граничных условий.

Кроме того, уравнение (15) содержит и решение задачи равномерного вращения нити с постоянной угловой скоростью  $\omega$ , например:  $\varphi = \omega t + (\omega / a) s$ .

В качестве иллюстрации покажем форму нити при ее равномерном вращении вокруг закрепленных концов — это движение характерно при движении детских прыгалок и струн музыкальных



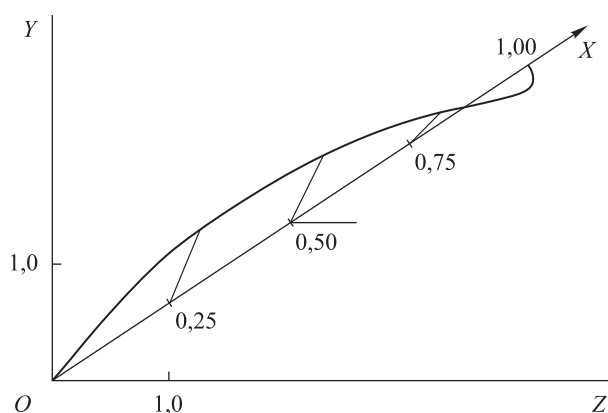


Рис. 2. Пространственная форма нити  
Fig. 2. Spatial shape of the thread

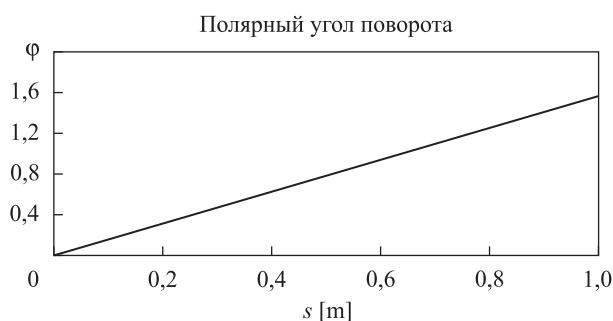


Рис. 3. Форма колебания нити  
Fig. 3. The shape of the thread oscillation

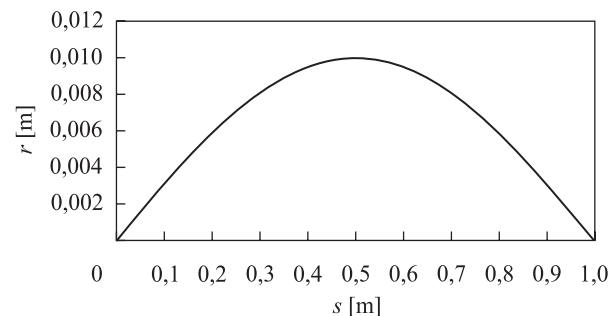


Рис. 4. Отклонение нити  
Fig. 4. Deflection of the thread

инструментов. Расчеты проведены для следующих исходных данных:

$$E = 2 \cdot 10^{11} \text{ Н/м}^2; \rho = 7,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3.$$

Диаметр нити  $d = 0,25$  мм; длина нити  $l = 1$  м. Скорость распространения поперечной волны 428,85 м/с. Пространственная форма нити и изменение полярных координат по длине нити показаны соответственно на рис. 2–4.

## Выводы

Малые пространственные колебания нити, кроме общепризнанного разложения по осям [10–12], могут быть удобно записаны в цилиндрических координатах, где движение каждой точки нити описывается величиной отклонения и полярным углом, указывающим направление этого отклонения. В ряде случаев форма нити в процессе движения может быть разложена на колебательное движение вдоль некоторой искривленной поверхности, описываемое классическим уравнением плоских малых колебаний, и вращение этой поверхности. Такой подход может быть полезен при решении задач, связанных с динамическими процессами при разворачивании тросовой системы, сматывании нити с катушки и т. п. на космических станциях [13–16].

## Список литературы

- [1] Baron Rayleigh John William S. The theory of sound. London: Macmillan and Co, 1894, 480 с.
- [2] Рэлей Дж.В. (Лорд Рэлей). Теория звука. В 2 т. / пер. с англ. П.Н. Успенского, С.А. Каменецкого; под ред. С.М. Рытова, К.Ф. Теодорчика. М.; Л.: Гостехтеоретиздат, 1940. Т. 1. С. 187–257.
- [3] Демьянов Ю.А. К уточнению теории колебаний музыкальных струн // Доклады РАН, 1999. Т. 369. № 4. С. 461–465.
- [4] Демьянов Ю.А. Постановка задач взаимодействия струны с возбудителем ее колебаний // Доклады РАН, 2000. Т. 372. № 6. С. 743–748.
- [5] Демьянов Ю.А., Малашин А.А. О взаимосвязи волновых и колебательных процессов в струнах щипковых музыкальных инструментов с манерой игры исполнителя // Доклады РАН, 2002. Т. 387. № 3. С. 333–337.
- [6] Демьянов Ю.А., Дементьева Д.В., Малашин А.А. Взаимовлияние поперечных и продольных колебаний в музыкальных инструментах // ПММ, 2003. Т. 67. № 2. С. 273–283.
- [7] Демьянов Ю.А., Малашин А.А. Поперечно-продольные волны в струне щипкового инструмента при возмущении исполнителя // ПММ, 2003. Т. 67. № 3. С. 464–471.
- [8] Демьянов Ю.А., Малашин А.А. К решению проблемы удара твердым телом по гибкой деформируемой струне при возникновении деформации сжатия // Доклады РАН, 2007. № 413. № 5. С. 635–639.
- [9] Dem'yanov Yu.A., Malashin A.A. Relation of wave and vibration processes in the strings of pizzicato musical instruments with the playing style of a performer // Doklady Physics, 2002. Т. 47. № 11. С. 828–832.
- [10] Брюквина О.Ю., Лобачев В.И., Малашин А.А. Задача о размотке нити с грузом // Вестник МГУЛ, 2012. Т. 6. № 89. С. 4–8.
- [11] Брюквин А.В., Брюквина О.Ю. Распределение энергии между продольными и поперечными движениями гибкой деформируемой нити // Вестник МГУЛ — Лесной вестник, 2008, № 2, С. 141–143.
- [12] Малашин А.А. Вынужденные продольные колебания гибких деформируемых предварительно натянутых струн на частотах поперечных колебаний // Доклады РАН, 2007. Т. 416. № 1. С. 54–56.

- [13] Смирнов Н.Н., Звягин А.В., Малашин А.А. Динамические процессы при разворачивании тросовой системы во время полета КА «Фотон М-3» // Упругость и неупругость / ред. Д.В. Георгиевский. Москва: МГУ, 2011. С. 454–457.
- [14] Демьянов Ю.А., Звягин А.В., Куксенко Б.В., Лужин А.А., Малашин А.А., Никитин В.Ф., Смирнов Н.Н. Инерционное сматывание нити с катушки, установленной на искусственном спутнике Земли // Сб.: Динамика деформируемых сред (памяти акад. Е.И. Шемякина), 2010, С. 65–78. URL: <http://math.msu.su/departments/volnogat/contents1.htm>
- [15] Malashin A.A., Smirnov N.N., Bryukvina O.Y., D'yakov P.A. Dynamic control of the space tethered system // J. Sound and Vibration, 2017, v. 389, pp. 41–51. DOI: 10.1016/j.jsv.2016.11.026
- [16] Домрачев В.Г., Комаров Е.Г., Полещук О.М. Мониторинг функционирования объектов на основе нечеткого описания их состояний // Информационные технологии, 2007. № 11. С. 46–52.

## Сведения об авторах

**Брюквин Александр Владимирович** — канд. техн. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), [bryukvin\\_a@mail.ru](mailto:bryukvin_a@mail.ru)

**Брюквина Ольга Юрьевна** — старший преподаватель МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), [bryukvina\\_o@mail.ru](mailto:bryukvina_o@mail.ru)

Принята к публикации 07.11.2017.

Поступила в редакцию 09.02.2018.

## ABOUT SOLUTION OF THE EQUATIONS OF SMALL SPATIAL OSCILLATIONS OF FLEXIBLE STRING IN CYLINDRICAL COORDINATES

**A.B. Bryukvin, O.Yu. Bryukvina**

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

[bryukvin\\_a@mail.ru](mailto:bryukvin_a@mail.ru)

In many technical problems flexible threads are used. Consideration of the vibrations of flexible bonds and threads is devoted to a large number of works, most often considering the plane case of transverse oscillations, the interrelation of oscillations in various planes in the spatial case is not sufficiently analyzed. At the same time, experiments with strings of musical instruments, threads in textile production and space cable systems show that most often the oscillations have a complex spatial character, not a flat one. There is no single-valued method for calculating the motion of a flexible thread, especially in the case of spatial motion. In this paper we consider a small spatial transverse motion of a flexible deformable yarn, which includes a well-studied vibration motion that can be represented as a decomposition into shapes by harmonic functions and the rotational motion of thread elements around the axis passing through the fixing points, and a combination of these movements. For a more descriptive description of the rotational motion, cylindrical coordinates are chosen. Using the equations of small transverse oscillations of the filament in two perpendicular planes of the Cartesian coordinate system, by replacing variables, equations are obtained, explicitly indicating the amount of deflection of the filament element from the rectilinear initial position and the direction of this deviation, described by the angle. These equations allow us to analyze not only the displacement of the thread element, but also the rotation of the oscillation plane around the initial static position. As a result of the solution, an estimate of the spatial shape of the string written in cylindrical coordinates is obtained. It is shown that the motion of a string in general form consists of deviation of points described by the well-known equation of plane oscillations and their rotation around an axis passing through the points of boundary fixing. It is shown that the shape of the oscillations can differ from the plane one and represent a line the shape of which is determined by the boundary and initial conditions.

**Keywords:** flexible string, transverse oscillations

**Suggested citation:** Bryukvin A.B., Bryukvina O.Yu. *O reshenii uravneniy malykh prostranstvennykh kolebaniy rastyanutoy niti v tsilindricheskikh koordinatakh* [About solution of the equations of small spatial oscillations of flexible string in cylindrical coordinates]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 2, pp. 134–139. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-2-134-139

## References

- [1] Baron Rayleigh John William S. The theory of sound. London: Macmillan and Co, 1894, 480 p.
- [2] Rayleigh John William S. *Teoriya zvuka* [Theory of sound]. In 2 v. Trans. from English by P.N. Uspenskiy, S.A. Kamenetskiy; ed. S.M. Rytov, K.F. Teodorchik. Moscow; Leningrad: Gostekhteorizdat, 1940, v. 1, pp. 187–257.
- [3] Dem'yanov Yu.A. *K utochneniyu teorii kolebaniy muzykal'nykh strun* [Towards a refinement of the theory of oscillations of musical strings]. *Doklady RAN*, 1999, v. 369, no. 4. pp. 461–465.

- [4] Dem'yanov Yu.A. *Postanovka zadach vzaimodeystviya struny s vzbuditelem ee kolebaniy* [Statement of problems of interaction of a string with the driver of its oscillations]. Doklady RAN, 2000, v. 372, no. 6, pp. 743–748.
- [5] Dem'yanov Yu.A., Malashin A.A. *O vzaimosvyazi volnovykh i kolebatel'nykh protsessov v strunakh shchipkovykh muzykal'nykh instrumentov s maneroy igry ispolnitelya* [About interrelation of wave and oscillatory processes in strings of plucked musical instruments with a manner of playing the performer]. Doklady RAN, 2002, v. 387, no. 3, pp. 333–337.
- [6] Dem'yanov Yu.A., Dement'eva D.V., Malashin A.A. *Vzaimovliyaniye poperechnykh i prodol'nykh kolebaniy v muzykal'nykh instrumentakh* [Interaction of transverse and longitudinal oscillations in musical instruments]. J. Appl. Math., 2003, v. 67, no. 2, pp. 273–283.
- [7] Dem'yanov Yu.A., Malashin A.A. *Poperechno-prodol'nye volny v strune shchipkovogo instrumenta pri vozdeystvii ispolnitelya* [Transverse-longitudinal waves in a string of a plucked instrument under the influence of a performer]. J. Appl. Math., 2003, v. 67, no. 3, pp. 464–471.
- [8] Dem'yanov Yu.A., Malashin A.A. *K resheniyu problemy udara tverdyim telom po gibkoy deformiruemoy strune pri vozniknovenii deformatsii szhatiya* [To the solution of the problem of impact by a rigid body on a flexible deformable string in the event of deformation of compression]. Doklady RAN, 2007, v. 413, no. 5, pp. 635–639.
- [9] Dem'yanov Yu.A., Malashin A.A. *Relation of wave and vibration processes in the strings of pizzicato musical instruments with the playing style of a performer* [Relation of the wave and vibration processes in the strings of pizzicato musical instruments with the playing style of a performer]. Doklady Physics, 2002, v. 47, no. 11, pp. 828–832.
- [10] Bryukvina O.Yu., Lobachev V.I., Malashin A.A. *Zadacha o razmotke niti s gruzom* [The problem of unwinding the filament with a load]. Moscow State Forest University Bulletin — Lesnoy vestnik, 2012, v. 6, no. 89, pp. 4–8.
- [11] Bryukvin A.V., Bryukvina O.Yu. *Raspredeleniye energii mezhdu prodol'nymi i poperechnymi dvizheniyami gibkoy deformiruemoy niti* [Energy distribution between longitudinal and transverse motions of a flexible deformable thread]. Moscow State Forest University Bulletin — Lesnoy vestnik, 2008, no. 2, pp. 141–143.
- [12] Malashin A.A. *Vynuzhdennye prodol'nye kolebaniya gibkikh deformiruemyykh predvaritel'no natyanutykh strun na chastotakh poperechnykh kolebaniy* [Forced longitudinal oscillations of flexible deformed pre-tensioned strings at transverse oscillation frequencies]. Doklady RAN, 2007, v. 416, no. 1, pp. 54–56.
- [13] Smirnov N.N., Zvyagin A.V., Malashin A.A. *Dinamicheskie protsessy pri razvorachivanii trosovoy sistemy vo vremya poleta KA «Foton M-3»* [Dynamic processes in the unfolding of the cable system during the flight of spacecraft Foton M-3]. Uprugost' i neuprugost' [Elasticity and non-elasticity]. Ed. D.V. Georgievskiy. Moscow: MSU, 2011, pp. 454–457.
- [14] Dem'yanov Yu.A., Zvyagin A.V., Kuksenko B.V., Luzhin A.A., Malashin A.A., Nikitin V.F., Smirnov N.N. *Inertsionnoe smatyvaniye niti s katushki, ustanovlennoy na iskusstvennom sputnike Zemli* [Inertial winding of a thread from a coil mounted on an artificial Earth satellite]. [Dynamics of deformable media (memory of academician E.I. Shemyakin)]. 2010, pp. 65–78. Available at: <http://math.msu.ru/departament/volnogaz/contents1.htm>
- [15] Malashin A.A., Smirnov N.N., Bryukvina O.Y., D'akov P.A. *Dynamic control of the space tethered system*. J. Sound and Vibration, 2017, v. 389, pp. 41–51. DOI 10.1016/j.jsv.2016.11.026
- [16] Domrachev V.G., Komarov E.G., Poleshchuk O.M. *Monitoring funktsionirovaniya ob'ektov na osnove nechetkogo opisaniya ikh sostoyaniy* [Monitoring of the functioning of objects based on a fuzzy description of their states] Information Technologies, 2007, no. 11, pp. 46–52.

## Authors' information

**Bryukvin Aleksandr Vladimirovich** — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of BMSTU (Mytishchi branch), [bryukvin\\_a@mail.ru](mailto:bryukvin_a@mail.ru)

**Bryukvina Ol'ga Yur'evna** — Senior Lecturer of BMSTU (Mytishchi branch), [bryukvina\\_o@mail.ru](mailto:bryukvina_o@mail.ru)

Received 07.11.2017.

Accepted for publication 09.02.2018.

## РЕШЕНИЕ МАТРИЧНЫХ УРАВНЕНИЙ СИЛЬВЕСТРА В СЛУЧАЕ КОММУТИРУЮЩИХ КОЭФФИЦИЕНТОВ

А.М. Ветошкин<sup>1</sup>, А.А. Шум<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>Тверской государственный технический университет, 170026, г. Тверь, наб. Афанасия Никитина, д. 22

vetkin@mgul.ac.ru

Неявное уравнение Сильвестра  $AXG + FXB = C$  имеет два важных частных случая: непрерывное уравнение Сильвестра  $AX + XB = C$  и дискретное уравнение Сильвестра  $AXB - X = C$ . Хорошо известны условия однозначной разрешимости этих уравнений. В работе показано, что если выполняются условия однозначной разрешимости этих уравнений и матрицы  $A$  и  $B$  перестановочны, то матрица  $(A + B)$  для непрерывного уравнения Сильвестра и матрица  $(AB - I)$  для дискретного уравнения Сильвестра неособенны. Решения указанных уравнений имеют простой вид, когда среди матриц  $A, B, C$  пара  $A, B$  и еще одна пара перестановочны: непрерывное уравнение Сильвестра имеет решение  $X = C(A + B)^{-1}$  или  $X = (A + B)^{-1}C$ , дискретное уравнение Сильвестра имеет решение  $X = C(AB - I)^{-1}$  или  $X = (AB - I)^{-1}C$ .

**Ключевые слова:** дискретное и непрерывное уравнения Сильвестра, условия разрешимости уравнений Сильвестра, аннулирующий вектор многочлен

**Ссылка для цитирования:** Ветошкин А.М., Шум А.А. Решение матричных уравнений Сильвестра в случае коммутирующих коэффициентов // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 2. С. 140–143.

DOI: 10.18698/2542-1468-2018-2-140-143

Ряд задач линейной теории оптимального управления [1–3] приводит к уравнениям Сильвестра. Так, знаменитое уравнение Ляпунова [4] является частным случаем уравнения Сильвестра.

### Цель работы

Основной целью данной работы является получение утверждения о том, что если выполняются условия однозначной разрешимости уравнений Сильвестра и матрицы  $A$  и  $B$  перестановочны, то матрица  $(A + B)$  для непрерывного уравнения Сильвестра и матрица  $(AB - I)$  для дискретного уравнения Сильвестра неособенны.

### Методы решения

Обозначим через  $\lambda(A)$  множество собственных значений квадратной матрицы  $A$ , при этом  $i$ -е собственное значение этой матрицы будет иметь обозначение  $\lambda_i(A)$ . Через  $I_n$  (или просто  $I$ ) обозначаем единичную матрицу порядка  $n$ . Будем рассматривать уравнения Сильвестра с квадратными матрицами  $A, B, C, X$ . Известны следующие результаты об однозначной разрешимости уравнений Сильвестра [5, 6].

**Теорема 1.** Непрерывное уравнение Сильвестра

$$AX + XB = C \quad (1)$$

однозначно разрешимо для любой правой части  $C$ , если

$$\forall i, j \quad \lambda_i(A) + \lambda_j(B) \neq 0. \quad (2)$$

**Теорема 2.** Дискретное уравнение Сильвестра

$$AXB - X = C \quad (3)$$

однозначно разрешимо для любой правой части  $C$ , если

$$\forall i, j \quad \lambda_i(A)\lambda_j(B) \neq 1. \quad (4)$$

Если в уравнении (1) матрицы  $A$  и  $X$  перестановочны, то получаем  $X = C(A + B)^{-1}$ . Для уравнения (3) аналогично:  $X = C(AB - I)^{-1}$ .

Уравнения Сильвестра с перестановочными коэффициентами не так уж редко встречаются. Например, в работе [7] появляется уравнение  $AX + XA = F(A)$ , где  $F$  — полином. В разд. 2 [7] показано, что для невырожденности матриц  $A + B$  и  $AB - I$  при условиях однозначной разрешимости соответствующего уравнения достаточно перестановочности матриц  $A$  и  $B$ . В разд. 3 [7] получены простые решения уравнений Сильвестра, когда среди матриц  $A, B, C$  пара  $A, B$  и еще одна пара перестановочны.

### Невырожденность матриц $A + B, AB - I$

Если матрицы  $A$  и  $B$  перестановочны, то верны следующие утверждения.

**Теорема 3.** Если для матриц  $A$  и  $B$  выполняются условия (2) и, кроме того, эти матрицы перестановочны, то матрица  $A + B$  невырожденная.

**Теорема 4.** Если для матриц  $A$  и  $B$  выполняются условия (4) и, кроме того, эти матрицы перестановочны, то матрица  $AB - I$  невырожденная.



**Доказательство теоремы 3.** Допустим, что матрица  $A + B$  вырожденная. Тогда у матрицы  $A + B$  есть собственный вектор  $x_0$  с собственным значением 0:  $(A + B)x_0 = 0$ .

Положим

$$x_1 = Ax_0 = -Bx_0. \quad (5)$$

Вектор  $x_1$  ненулевой, так как иначе было бы  $Ax_0 = Bx_0 = 0$  и ноль оказался бы собственным значением матриц  $A, B$ , что нарушает условие (2).

Воспользовавшись перестановочностью матриц  $A, B$  и формулой (5), получим

$$A^2x_0 = -ABx_0 = -BAx_0 = B^2x_0;$$

$$(A^2 - B^2)x_0 = (A + B)(A - B)x_0 = 2(A + B)x_1 = 0.$$

Таким образом,  $x_1$  — также собственный вектор матрицы  $A + B$ , соответствующий собственному значению 0.

Определим векторы  $x_i = Ax_{i-1}$ ,  $i = 1, 2, \dots$ . Проведя операции, аналогичные операциям с вектором  $x_1$ , приходим к тому, что эти векторы являются собственными векторами матрицы  $A + B$ . Кроме того,

$$x_i = A^i x_0, \quad Ax_i = -Bx_i, \quad A^i x_0 = (-1)^i B^i x_0. \quad (6)$$

Пусть  $\varphi(\lambda)$  — минимальный аннулирующий вектор  $x_0$  многочлен

$$\varphi(\lambda) = \sum_{i=0}^k \alpha_i \lambda^i, \quad \alpha_k = 1, \quad \text{т. е.}$$

$$\varphi(A)x_0 = \sum_{i=0}^k \alpha_i A^i x_0 = 0.$$

Учитывая (6), получаем

$$\varphi(A)x_0 = \sum_{i=0}^k \alpha_i A^i x_0 = \sum_{i=0}^k \alpha_i (-1)^i B^i x_0 = 0.$$

Таким образом,  $\psi(\lambda) = \sum_{i=0}^k \alpha_i (-1)^i \lambda^i$  есть

аннулирующий вектор  $x_0$  многочлен для матрицы  $B$ .

Пусть  $\lambda_1, \dots, \lambda_k$  — корни уравнения  $\varphi(\lambda) = 0$ , т. е.

$$\varphi(\lambda) = \prod_{j=1}^k (\lambda - \lambda_j), \quad (7)$$

Тогда

$$\psi(\lambda) = \prod_{j=1}^k (\lambda + \lambda_j) \quad (8)$$

и корни уравнения  $\psi(\lambda) = 0$  — это  $-\lambda_1, -\lambda_2, \dots, -\lambda_k$ .

Известно, что для любого вектора  $x$  минимальный многочлен матрицы  $A$  делится на ми-

нимальный аннулирующий вектор  $x$  многочлен ([8], с. 66). Таким образом,  $\lambda_1, \dots, \lambda_k$  являются собственными значениями матрицы  $A$ .

Для матрицы  $B$  многочлен  $\psi(\lambda)$  как аннулирующий вектор  $x_0$  многочлен делится на минимальный аннулирующий вектор  $x_0$  многочлен, корни которого являются собственными значениями  $B$ . Поэтому часть корней уравнения  $\psi(\lambda) = 0$  являются собственными значениями матрицы  $B$ . Учитывая (7) и (8), получаем противоречие с условием (2):

$$\lambda_i + (-\lambda_i) = 0, \quad \lambda_i \in \lambda(A), \quad -\lambda_i \in \lambda(B).$$

Теорема 3 доказана.

**Лемма.** Пусть матрицы  $A$  и  $B$  перестановочны. Если  $x$  — собственный вектор матрицы  $AB - I$  с собственным значением 0, то  $y = Ax$  — собственный вектор этой матрицы для того же собственного значения.

**Доказательство леммы.** Из того, что  $(AB - I)x = 0$ , следует  $ABx = x$  и  $Bu = x$ . Из последнего равенства следует, что если  $y = 0$ , то и  $x = 0$ . Но  $x \neq 0$ , поэтому вектор  $y$  — ненулевой. Далее:

$$(AB - I)y = (AB - I)Ax = A(AB - I)x = 0.$$

Таким образом,  $y$  — собственный вектор матрицы  $AB - I$ . Лемма доказана.

**Доказательство теоремы 4.** Допустим, что матрица  $(AB - I)$  — вырожденная. Тогда у матрицы  $AB - I$  есть собственный вектор  $x_0$  с собственным значением 0:  $(AB - I)x_0 = 0$ .

Определим векторы  $x_i = Ax_{i-1}$ ,  $i = 1, 2, \dots$ .

Из леммы следует, что все  $x_i$  — собственные векторы матрицы  $AB - I$  с собственным значением 0. Так как  $(AB - I)x_i = 0$ , то  $ABx_i = x_i = B(Ax_i) = Bx_{i+1}$ , поэтому  $Bx_{i+1} = x_i$ ,  $i = 1, 2, \dots$ . Кроме того,

$$x_i = B^{k-i} x_k, \quad i = 0, \dots, k-1. \quad (9)$$

Пусть  $\varphi(\lambda)$  — минимальный аннулирующий вектор  $x_0$  многочлен

$$\varphi(A)x_0 = \sum_{i=0}^k \alpha_i A^i x_0 = 0, \quad \alpha_k = 1.$$

Докажем, что  $\alpha_0 \neq 0$ . Пусть  $\alpha_0 = \alpha_1 = \dots = \alpha_{s-1} = 0$ ,  $\alpha_s \neq 0$ , тогда

$$\varphi(A)x_0 = \sum_{i=s}^k \alpha_i A^i x_0 = A^s \sum_{i=s}^k \alpha_i A^{i-s} x_0 = 0.$$

Вектор  $\sum_{i=s}^k \alpha_i A^{i-s} x_0$  не равен нулю, иначе  $\sum_{i=s}^k \alpha_i \lambda^{i-s}$  был бы аннулирующим вектор  $x_0$  мно-

гочленом меньшей, чем  $k$ , степени. Этот вектор является собственным вектором матрицы  $AB - I$ .

Поэтому из леммы следует, что вектор

$$\varphi(A)x_0 = A^s \sum_{i=s}^k \alpha_i A^{i-s} x_0 \text{ — ненулевой.}$$

Полученное противоречие доказывает, что  $\alpha_0 \neq 0$ .

Учитывая (9), получаем

$$\varphi(A)x_0 = \sum_{i=0}^k \alpha_i A^i x_0 = \sum_{i=0}^k \alpha_i x_i = \sum_{i=0}^k \alpha_i B^{k-i} x_k = 0.$$

Таким образом,

$$\psi(\lambda) = \sum_{i=0}^k \alpha_i \lambda^{k-i}, \quad \alpha_k = 1, \quad \alpha_0 \neq 0, \quad (10)$$

и  $\psi(\lambda)$  — аннулирующий вектор  $x_k$  многочлен для матрицы  $B$ .

Как и в теореме 3, выполняется равенство (7),  $\lambda_1, \dots, \lambda_k$  — корни уравнения  $\varphi(\lambda) = 0$ . Причем эти корни являются собственными значениями матрицы  $A$ .

В силу выражения (10) многочлены  $\psi(\lambda)$  и  $\varphi(\lambda)$  таковы, что  $\psi(\lambda) = \lambda^k \varphi(1/\lambda)$ , поэтому корни уравнения  $\psi(\lambda) = 0$  есть  $1/\lambda_1, 1/\lambda_2, \dots, 1/\lambda_k$ .

Повторяя рассуждения из конца доказательства теоремы 3, получаем, что часть из этих корней — собственные значения матрицы  $B$ , причем  $(1/\lambda_i) \lambda_i = 1, 1/\lambda_i \in \lambda(B), \lambda_i \in \lambda(A)$ . Следовательно, условие однозначности (4) нарушено. Полученное противоречие завершает доказательство теоремы 4.

### Решение уравнений Сильвестра в случае коммутирующих коэффициентов

Среди работ, посвященных уравнению Сильвестра, известны такие, в которых даются конечные выражения для решений непрерывного [9] и дискретного [10] уравнений Сильвестра. К ним относятся и две нижеследующие простые теоремы.

**Теорема 5.** Если для непрерывного уравнения Сильвестра (1) выполняется условие однозначности (2) и матрицы  $A$  и  $B$  перестановочны, то решение данного уравнения есть

$$X = C(A + B)^{-1} \quad (X = (A + B)^{-1}C) \quad (11)$$

тогда и только тогда, когда

$$AC = CA \quad (BC = CB) \quad (12)$$

**Доказательство теоремы 5.** Из теоремы 3 следует, что  $D = (A + B)^{-1}$  существует. Отметим, что  $B$  и  $D$  перестановочны. Из выражения (11) следует, что

$$ACD + CDB = (AC + CB)D = C,$$

$$AC + CB = CD^{-1} = C(A + B) \Leftrightarrow AC = CA.$$

Пусть выполняется равенство (12). Убедимся, что выражение (11) является решением уравнения, подставив  $X = CD$  в уравнение (1):

$$ACD + CDB = C(A + B)D = C.$$

Возможны случаи, когда выполняются условия (2), (11) и (12), но матрицы  $A$  и  $B$  не являются коммутативными. Например:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 6 & -11 & 6 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 0 & -5/11 & 0 \\ 0 & 6/11 & -4/5 \\ -5 & 635/66 & -29/6 \end{bmatrix},$$

$$C = \begin{bmatrix} 6 & -5 & 1 \\ 6 & -5 & 1 \\ 6 & -5 & 1 \end{bmatrix},$$

$$AC = CA = C, \quad \lambda(A) = \{1, 2, 3\},$$

$$\lambda(B) = \{-0,832, -0,833, -2,622\}.$$

**Теорема 6.** Если для дискретного уравнения Сильвестра (3) выполняется условие однозначности (4) и, кроме того,  $AB = BA$  и  $AC = CA$ , то  $X = C(AB - I)^{-1}$  является решением данного уравнения.

**Доказательство теоремы 6.** Из теоремы 4 следует, что  $D = (AB - I)^{-1}$  существует. Матрицы  $B$  и  $D$  перестановочны. По условиям теоремы (6),

$$ACDB - CD = C(AB - I)D = C.$$

**Замечание.** Если в формулировке теоремы 6 условие  $AC = CA$  заменить на условие  $BC = CB$ , то решением будет  $X = (AB - I)^{-1}C$ .

### Выводы

Установлено, что в случае перестановочности матричных коэффициентов  $A, B$  и однозначной разрешимости непрерывного (дискретного) уравнений Сильвестра матрицы  $A + B$  ( $AB - I$ ) невырожденные. Это позволяет в ряде случаев выписать очень простые явные решения уравнений Сильвестра.

### Список литературы

- [1] Андреев Ю.Н. Управление конечномерными линейными объектами. М.: Наука, 1974. 424 с.
- [2] Уонэм М. Линейные многомерные системы управления. М.: Наука, 1980. 376 с.
- [3] Квакернаак Х., Сиван Р. Линейные оптимальные системы управления. М.: Мир, 1977. 653 с.
- [4] Ляпунов А.М. Общая задача об устойчивости движения. М.: Гостехиздат, 1950. 276 с.
- [5] Гантмахер Ф.Р. Теория матриц. М.: Наука, 1977. 576 с.
- [6] Икрамов Х.Д. Численное решение матричных уравнений. М.: Наука, 1984. 192 с.
- [7] Ветошкин А.М. Жорданова форма разности проекторов // Вычислительная математика и математическая физика, 2014. Т. 54. № 3. С. 375–390.
- [8] Воеводин В.В., Кузнецов Ю.А. Матрицы и вычисления. М.: Наука, 1984. 320 с.
- [9] Шестопал В.Е. Решение матричного уравнения  $AX - XB = C$  // Математические заметки, 1976. Т. 19. № 3. С. 449–451.
- [10] Ветошкин А.М. Конечное выражение для решения дискретного уравнения Сильвестра // Обзорение прикладной и промышленной математики, 2016. Т. 23. Вып. 4. С. 334–335.

## Сведения об авторах

**Ветошкин Александр Михайлович** — канд. техн. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), vetkin@mgul.ac.ru, alexander.vetkin@gmail.com

**Шум Александр Анатольевич** — канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры высшей математики Тверского государственного технического университета, shum@tstu.tver.ru

Поступила в редакцию 01.11.2017.

Принята к публикации 11.01.2018.

## SOLVING MATRIX EQUATIONS OF SILVESTER FOR THE CASE OF COMMUTING COEFFICIENTS

A.M. Vetoshkin<sup>1</sup>, A.A. Shum<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>Tver State Technical University named after Afanasy Nikitin, 22, Tver, 170026, Russia

vetkin@mgul.ac.ru

The implicit Sylvester equation  $AXG + FXB = C$  has two important special cases: the continuous Sylvester equation  $AX + XB = C$ , and the discrete Sylvester equation  $AXB - X = C$ . The conditions for the unique solvability of these equations are well known. The main result of this paper is the assertion that if the conditions for the unique solvability of these equations are satisfied and the matrices  $A$  and  $B$  commute, then the matrix  $(A + B)$  for the continuous Sylvester equation and the matrix  $(AB - I)$  for the discrete Sylvester equation are nonsingular. The solutions of these equations have a particularly simple form when among the matrices  $A, B, C$  the pair  $A, B$  and one more pair commute: the continuous Sylvester equation has a solution  $X = C(A + B)^{-1}$  or  $X = (A + B)^{-1}C$ , the discrete Sylvester equation has a solution  $X = C(AB - I)^{-1}$  or  $X = (AB - I)^{-1}C$ .

**Keywords:** discrete and continuous Sylvester equations; conditions for the solvability of the Sylvester equations; polynomial annihilating vector

**Suggested citation:** Vetoshkin A.M., Shum A.A. *Reshenie matrichnykh uravneniy Sil'vestra v sluchae kommutiruyushchikh koeffitsientov* [Solving matrix equations of Silvester for the case of commuting coefficients]. Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin, 2018, vol. 22, no. 2, pp. 140–143. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-2-140-143

## References

- [1] Andreev Yu.N. *Upravlenie konechnomernymi lineynymi ob'ektami* [Managing finite-dimensional linear objects]. Moscow: Nauka Publ., 1974, 424 p.
- [2] Uonem M. *Lineynye mnogomernye sistemy upravleniya* [Linear multidimensional control systems]. Moscow: Nauka Publ., 1980, 376 p.
- [3] Kvakernaak Kh., Sivan R. *Lineynye optimal'nye sistemy upravleniya* [Linear optimal control systems]. Moscow: Mir Publ., 1977, 653p.
- [4] Lyapunov A.M. *Obshchaya zadacha ob ustoychivosti dvizheniya* [The general problem of the stability of motion]. Moscow: Gostekhizdat Publ., 1950, 276 p.
- [5] Gantmakher F.R. *Teoriya matrits* [Matrix theory]. Moscow: Nauka Publ., 1977. 576 p.
- [6] Ikramov Kh.D. *Chislennoe reshenie matrichnykh uravneniy* [Numerical solution of matrix equations]. Moscow: Nauka Publ., 1984, 192 p.
- [7] Vetoshkin A.M. *Zhordanova forma raznosti proektorov* [Zhordanov form of difference of projectors]. Computational Mathematics and Mathematical Physics, 2014, v. 54, no. 3, pp. 375–390.
- [8] Voevodin V.V., Kuznetsov Yu.A. *Matritsy i vychisleniya* [Matrices and calculations]. Moscow: Nauka Publ., 1984, 320 p.
- [9] Shestopal V.E. *Reshenie matrichnogo uravneniya  $AX - XB = C$*  [The solution of the matrix equation]. Matematicheskie zametki [Math notes], 1976, v. 19, pp. 449–451.
- [10] Vetoshkin A.M. *Konechnoe vyrazhenie dlya resheniya diskretnogo uravneniya Sil'vestra* [The finite expression for the solution of the discrete Sylvester equation]. Obzrenie prikladnoy i promyshlennoy matematiki [Survey of applied and industrial mathematics], 2016, v. 23, no. 4, pp. 334–335.

## Authors' information

**Vetoshkin Alexandr Mikhailovich** — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of BMSTU (Mytishchi branch), vetkin@mgul.ac.ru

**Shum Alexandr Anatolievich** — Cand. Sci. (Phys.-Math.), Associate Professor of TvSTU, shum@tstu.tver.ru

Received 01.11.2017.

Accepted for publication 11.01.2018.

## К 90-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ В.А. ЧИВИЛИХИНА (1928–1984), ПИСАТЕЛЯ, ПУБЛИЦИСТА, ИССЛЕДОВАТЕЛЯ

Н.А. Моисеев, академик РАН

Писать о лесах — любимое мое занятие, в некотором смысле даже гражданская обязанность.

В.А. Чивилихин



Начиная писать эту статью, посвященную человеку, чей труд как писателя был во многом связан с лесом и его тружениками, я невольно подумал, что последние десятилетия после его преждевременного ухода в мир иной мы оказались в совершенно другой стране. Не потеряло ли значение то, о чем он писал? Что изменилось за это время? *Что мы приобрели и что не должны бы терять?* По первой части этого вопроса наши политики утвердительно говорят, что все мы наконец-то приобрели свободу. Какую? Об этом отдельно надо бы писать. Можно лишь сказать, что без свободы, конечно, трудно жить, тем более творить. Хотя некоторые лица, в том числе и высокого ранга, напоминают нам, что при капитализме «свобода личности определяется наличностью».

Для писателей же и для нас, читающих их труды, главное — то, что теперь они могут обо всем писать и не только оповещать нас о творящемся в мире и душах людей, но и воспитывать, чтобы не дать нам, по крайней мере, опуститься. Ведь

предназначение всего искусства, в том числе и художественной литературы, в конечном итоге сводится к *воспитанию*. И при этом сами писатели являются «инженерами человеческих душ».

Теперь, когда дана свобода мастерам культуры, надо, казалось бы, только радоваться, что между писателями и читателями нет никаких преград.

Но вот тут мы сталкиваемся с новым феноменом. Страна, до недавних пор считавшаяся *самой читающей в мире*, вдруг почти в одночасье (при переходе к капитализму) перестала быть таковой. Ну, обо всех, конечно, этого не скажешь, но тем не менее после дневных трудов, когда людям надо перевести дух и настроиться на высокое, духовное, многие предпочитают проводить время не с книжкой в руках, а у «телека». А там, как всем известно, нас угощают в основном «дрыгалками-развлекаловками» да нескончаемой вереницей киносериалов и реклам с навязчивыми мотивами насилия и секса. И никто, даже государственная власть, не может и не пытается остановить этот мутный поток нового вида «просвещения» и «воспитания».

Чиновники, «слуги народа», тоже не читают ничего, кроме циркуляров, проходящих через их руки. О власти имущем меньшинстве и говорить не приходится. Этой власти не до высокого искусства. Главное для них занятие — делать деньги. А для чего? Для того, чтобы снова делать деньги.

Но теперь и политологи наконец начали изучать эту нашу «элиту», чтобы лучше знать, куда она ведет страну с непрерывно убывающим ее населением.

Не забывая этот окружающий нас фон, который, как погоду, не приходится игнорировать, обратимся к нашим лесам и лесным делам. Тут, надо признать, никогда не было спокойно. Теперь тем более. Поскольку леса — общенародная собственность, это последнее, что еще не успели «при(х)ватизировать». Но борьба за это ведется не шуточная, в том числе и с помощью упорно навязываемых законодательных мер. Чтобы все было шито-крыто и чтобы даже комар носу не подточил.

И вот, говоря о нашем юбиляре, надо не забывать, что без писателей, доносящих свой глас не только до народа, но и до самых «верхов», труженики леса никогда не обойдутся. В самые критические времена именно они, рыцари «золотого пера», шли впереди, прокладывая нам путь.



И это — не преувеличение. Среди имен известных писателей, чье творчество было посвящено защите леса и благородного труда лесоводов, в первом ряду стоят славные имена Леонида Леонова и Владимира Чивилихина.

Не все, может быть, помнят, что книга Леонова «Русский лес» оказала отрезвляющее действие не только на общественное мнение, но и на мнение руководителей государства. После этой книги, за которую Леонов получил высшую награду того времени — Ленинскую премию, демагоги и в науке, и во власти до конца дней своих отмывались. Были сняты наветы с наших классиков, были восстановлены попорченные принципы управления лесами, и был дан толчок кардинальному изменению государственной лесной политики того времени.

Владимир Алексеевич Чивилихин не просто принял эстафету от своего старшего собрата — он отвоевывал позиции для научных основ рационального пользования лесами и ведения лесного хозяйства в них.

Но надо знать человека, чтобы говорить о нем. Для этого кратко напомним его биографию.

Родился Чивилихин 7 марта 1928 г. в г. Мариинске Кемеровской области. Через год его родители переехали на станцию Тайга (в той же области), где его отец Алексей Иванович работал кондуктором товарных поездов и погиб в 1937 г. На руках у матери Аграфены Тихоновны остались пять детей, бабушка, старшая ее сестра и приемная девочка-сиротка. Жили в постоянной нужде, кормились за счет собственного труда, огорода и даров леса. Чтобы помочь матери, Владимир с 13 лет работал помощником слесаря, а затем паровозным кочегаром. Уже после войны он окончил железнодорожный техникум и работал техником и бригадиром. На подмосковной станции Узловая стал монтером и преподавателем специальных дисциплин в железнодорожном училище. В 1949 г., выдержав конкурс, Чивилихин поступил на отделение журналистики филологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. После окончания университета в 1954 г. он работал в «Комсомольской правде», был заведующим отделом литературы и искусства. В 1961 г. стал членом Союза писателей СССР.

Его становление проходило в рабочем коллективе, который был нравственной опорой и основой уважительного отношения к людям труда. Именно здесь он ощутил высокое значение коллективизма и взаимовыручки.

Читать Чивилихин начал еще до школы и читал запоем всю жизнь. Печататься стал рано, с 1946 г. Его книги, очерки, повести были отмечены в 1966 г. премией Ленинского комсомола, Государственными премиями РСФСР (1977) и СССР (1982). Награжден двумя орденами «Знак почета».

Перед написанием этой статьи я еще раз просмотрел прочитанные ранее многие из его подаренных мне книг, главный лейтмотив которых — лес во всех уголках нашей громадной страны, вместе с людьми, посвятившими ему свою жизнь. Напомним названия некоторых из них: «О чем шумят русские леса», «Кедроград», «Елки-молотки», «Шумы, тайга, шуми», «По городам и весям», «Поющие пески», «Земля в беде», «Любит ли она тебя», «Сибирка», «Серебряные рельсы», «Память». Написанию их предшествовали многочисленные поездки, изучение на месте и леса, и жизни людей, их мыслей и забот. Представьте себе, что в один из отпусков в декабре он поехал не на юг, а в Заполярье, на маленькую станцию Сейда под Воркутой, чтобы побеседовать с охотником, нашедшим воркутинский уголь. Мороз был градусов под пятьдесят, обжигал ветер. И вот там Чивилихин увидел защитные полосы, высаженные вдоль железнодорожной магистрали, чтобы защищать ее от снежных заносов и сильных ветров, влияющих на скорость движения составов. К этим полосам затем он приехал еще раз через несколько лет, чтобы посмотреть, как они себя чувствуют в тундре. Любимым лесным деревом писателя был кедр, которому он уделял внимание во многих поездках, особенно в поездках на Алтай. Именно там его герои создали целое хозяйство под названием «Кедроград». Может быть, не все читатели знают об уникальности этого ценнейшего дерева. Его насаждения — это не только прекрасная древесина, но и орехи, и связанное с ними сообщество птиц и животных, питающихся кедровыми орехами (среди них и знаменитый соболь), и лекарственные растения. Неоценимо их водоохранное и почвозащитное значение. Его, кедр, Чивилихин воспел во многих своих произведениях: «Никогда не забуду лесного феномена, встреченного мною в горах Алтая. Кедр-исполин стоял на огромной базальтовой скале, оплел ее толстенными корнями и добывал, высасывал питательные вещества из-под своего пьедестала». Он лично «даже на священной горе Фудзияма (в Японии)... посадил семь семидесятилетних кедров». В Швеции он целую оду посвятил капитану из Лулео, который завез и посадил кедровые орешки кедр — на момент посещения это была уже роща из 200-летних исполинов.

Чивилихин изучил опыт облесения движущихся Алешковских песков на юге европейской части страны, которое осуществляла группа ученых и практиков под руководством ветерана войны и труда академика В.Н. Виноградова (эта работа была удостоена Государственной премии).

Не обошел он своими поездками и описанием вопросы степного лесоразведения, в том числе и так называемый Сталинский план преобразования природы — первый в мире масштабный

план борьбы с засухами, суховеями и эрозией почв. Не боясь преувеличений, можно сказать, что мир ахнул, восхищенный масштабами и сутью Плана. Впервые в истории человечества, в истории взаимоотношений общества и природы государство взяло на себя столь благородную и сложную задачу, что само по себе неотразимо воздействовало на умы, агитировало за социалистическую систему хозяйствования. К сожалению, при переходе к капитализму государство самоустранилось от решения этой проблемы. Мало того, есть опасность, что при нынешнем беспределе страна может потерять и то, что раньше создавалось. Он видел, что «труд степного лесовода поистине героичен. Очень нелегко поднять лес на сухой задернелой земле».

Немало сил он приложил и для защиты Байкала, описав проблему в повести «Светлое око Сибири».

Многочисленные поездки по разным районам нашей страны и других стран привели его к обобщениям с постановкой вопросов и определением путей их решения. Например, в повести «Земля в беде» Чивилихин говорит: «Мне кажется, пришла пора задуматься нам об исходных принципах нашего природопользования».

В повести «О чем шумят русские леса» он пишет: «Нелегко приступить к этой большой теме. (...) Мысленно беседую с учеными и специалистами лесного дела (...) Писать нелегко, но и молчать нельзя».

Именно эта повесть была поводом для нашей первой встречи с ним осенью 1965 г. В ней Чивилихин дал отклик на мою первую книгу («Расчет и организация пользования лесом»). Во время беседы меня поразила его глубокая заинтересованность, желание знать истинное положение лесных дел в стране, добраться до первопричин. И при последующих встречах (как он выражался, на «лесных посиделках»), в кругу героев его публикаций и наших общих коллег по лесной профессии, он играл первую скрипку в разговорах о лесах, органически переплетая лесную проблематику с общим положением дел в стране, ее культурой, национальными традициями, защищая историю и память о ней. Все это он сумел мастерски обобщить в последней своей книге «Память», посвященной тысячелетию России.

Напомню, что Владимир Алексеевич был активным участником разработки «Основ лесного законодательства СССР», принятых в 1977 г. И тогда, как и в нынешних дебатах о Лесном кодексе (2006), кипели страсти. И он умело доказывал, что «лес — это не просто лесная растительность, как считают некоторые недалекие юристы (...) Лес — ничем не заменимая, наиболее важная, обширная и сложная саморегулирующаяся экологическая система планеты. Глобальное и даже космическое значение этой системы возрастает с каждым годом». И его взгляды, при поддержке сторонников, тогда победили, чего не скажешь о

нынешнем Лесном кодексе, где при поддержке «голого» административного ресурса победили «недалекие юристы», представившие в этом документе лес в виде лишь лесной растительности, которую, как редиску, можно вырвать из земли и выбросить, чтобы она не мешалась, а землю пустить в оборот.

Сегодня лесоведам, да и не только им, а и всем труженикам леса очень не хватает таких богатырей из писательской среды, которые бы не только знали лес и нужды его, но и имели бы авторитет, позволяющий им по административной лестнице добираться до самого верха и там вразумительно доказывать, как должно быть и чего нельзя допускать.

В заключение акцентирую внимание на главных героях его произведений и на том, что ими руководило в жизни.

Главными героями для него были *великие труженики*, в своих делах — *первопроходцы, одухотворенные высокими благородными помыслами бескорыстного служения своей стране, своему народу*. В веренице его героев — великие путешественники-естествоиспытатели Пржевальский, Миклухо-Маклай, ученые Менделеев, Софья Ковалевская, уральские промышленники из династии Демидовых, великий почвовед-географ Докучаев, наши лесные классики Морозов, Орлов и многие из его современников — лесоводы из разных уголков страны, с которыми он не просто общался, а активно действовал с ними вместе, направляя лесные дела в нужное для них русло. Сквозным героем в произведениях Чивилихина был и сам лес, а также вся природа, которая без леса становится крайне уязвимой. И, что очень важно, все, чего бы он не касался, основывалось на глубоком изучении истории вопроса, ее обобщении и предвидении будущего: «Мне кажется, пришла пора задуматься об исходных принципах природопользования»; «Все сложности и противоречия, с которыми сталкивается человек в сфере окружающей среды, неразрывно сцеплены с вопросами социальными, политическими, зависят от них, вызваны ими и не могут быть решены в отрыве от них». В беседе с главным редактором одной из шведских газет Бьёрном Гильбергом, молодым генетиком и философом, Чивилихин выделяет его слова: «Каждый ученый, если он честен и его заботят людские нужды, придет через свою науку к социальным, политическим проблемам» (из книги «По городам и весям»).

На нашем ТВ есть передача «Народ хочет знать». Вот наш народ должен знать своих героев, иначе у него нет будущего. Среди своих героев всем, а особенно лесной общественности, надо знать и помнить славные дела и личность писателя Владимира Чивилихина, произведения которого остаются весьма актуальными не только для нашего времени, но и для будущего, представляя духовную основу для воспитания молодого поколения.